

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroenergetiky

**Výstavba fotovoltaické elektrárny a její připojení do distribuční
sítě**

**Solar Power Station Construction and Distribution Network
Connection**

Zadání bakalářské práce

Student: **Vladimír Čechák**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Výstavba fotovoltaické elektrárny a její připojení do distribuční sítě**
Solar Power Station Construction and Distribution Network Connection

Zásady pro vypracování:

1. Fotovoltaické elektrárny, princip funkce, technologie.
2. Zpětné vlivy fotovoltaických elektráren na provoz distribuční soustavy, eliminace zpětných vlivů.
4. Současná legislativa - podmínky připojení, dotační programy.
5. Technické podmínky pro připojení v dané lokalitě.
6. Ekonomické zhodnocení investice s výhledem na životnost FVE.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Murtinger, K., Beranovský, J., Tomeš, M.: Fotovoltaika: elektřina ze slunce. ERA Group .s.r.o., 2007.
2. Libra, M., Poulek, V.: Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie. ČZU v Praze, 2009.
3. QUASCHING, V.: Obnovitelné zdroje energií. 1.vydání. Praha, Grada Publishing, 2010.
4. LADENER, H.; SPÄTE, F.: Solární zařízení. 1.vydání. Praha, Grada Publishing, 2003.
5. LIBRA, M.; POULEK, V.: Zdroje a využití energie. 1.vydání. Praha, ČZU, 2007.
6. HENZE, A.; HILLEBRAND, W.: Elektrický proud ze slunce. 1.vydání. Ostrava, HEL, 2000.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr.Ing. Zdeněk Medvec**


Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení Studenta:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Současně bych chtěl touto formou poděkovat svému vedoucímu práce panu **doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi**, který mi věnoval svůj čas, podporu a ochotu při konzultacích. Dále bych poděkoval panu **Ing. Pavlu Baďurovi** ze společnosti **SIGNALBAU, a.s.** za poskytnutí tématu bakalářské práce, za jeho odbornou pomoc a spolupráci.

V Ostravě dne 25. 10. 12.....

Podpis.....

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby:

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB – TU Ostrava.“

V Ostravě dne.....*5.5.2012*.....

Podpis.....*[Signature]*.....

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je komplexní technické řešení výstavby dané fotovoltaické elektrárny o celkovém instalovaném výkonu 0,6MW a podmínky pro její připojení do distribuční sítě.

V první části práce jsou uvedeny typy fotovoltaických elektráren, jejich princip funkce přeměny sluneční energie na energii elektrickou a obecný popis technologie.

Druhá část se zabývá ochranou před bleskem a vzniklými přepětími pro fotovoltaické zdroje. Zde je uvedena legislativa, zohlednění způsobených škod v závislosti na různých faktorech, všeobecné postupy pro návrh fotovoltaických systémů a základní přehled ochrany před bleskem a přepětím.

Třetí část obsahuje teoretický popis zpětných vlivů na provoz distribučních soustav a možnosti jejich eliminace. Tyto vlivy jsou nežádoucí a způsobují značné potíže v síti, které jsou dále popsány.

Čtvrtá část práce se věnuje současné legislativě, která řeší podmínky připojení fotovoltaických zdrojů a dotační programy na podporu obnovitelných zdrojů. Podmínky pro připojení jsou přesně stanoveny dle Pravidel provozování distribučních soustav vycházejících ze zákona č. 458/2000 Sb. Hlavním programem na podporu úspor a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2012 je program EFEKT.

V předposlední části je uvedeno komplexní technické řešení fotovoltaické elektrárny v katastrálním území Horní Moštěnice, okres Přerov. Zde jsou uvedeny jednotlivé parametry pro stranu nízkého napětí (dále jen NN) a vysokého napětí (dále jen VN) a samotné technické řešení. V jednotlivých částech jsou popsány použité technologie včetně principu funkce.

Poslední část této práce řeší ekonomickou efektivnost vynaložené investice na novou fotovoltaickou elektrárnu s výhledem na dobu životnosti 20 let. V celkovém ekonomickém zhodnocení se počítá s řadou různých parametrů. Předpokládaná návratnost investice při současné výkupní ceně a s uvážením bankovního úvěru, který je 80%, při vynaložené investici bude za 17 let.

Klíčová slova

Fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický panel, distribuční soustava, zpětné vlivy, připojovací předpisy, dotační programy, string, strana NN, strana VN, ekonomické zhodnocení investice.

Abstract

The aim of the thesis is a comprehensive solving of photovoltaic power plant construction, with total installed power capacity of 0,6 MW, and conditions of its connection to distribution network.

In the first part, there are types of photovoltaic power plants, their principles of changing solar energy to electric energy and general description of their technology.

The second part deals with protection against lightning and overvoltage caused by it. There are listed legislation, adjustment of damage depending on different factors, general list of protection against lightning and overvoltage.

The third part contains theoretical description of influence of negative-sequence component in distribution network and possibilities of its elimination. This influence is unwanted and cause considerable problems in the network, which are described below.

The fourth part focuses on contemporary legislation which deals with connection of photovoltaic sources and subsidy programs for renewable sources of energy. The conditions for connection are given by Rules for distribution network management, based on the law n. 458/2000 Sb. The main program to support savings and renewable sources utilization in the 2012 is the program EFEKT.

The next part gives a comprehensive solving of photovoltaic power plant construction in the area of Horní Moštěnice, Přerov district. There are particular specifications for high voltage and low voltage and proper technical solving. Each part contains used technologies and principles.

The last part deals with capital appreciation of the investment in a new photovoltaic power plant with 20 year lifespan. In the total capital appreciation, there are considered many different parameters. The expected return of investment is 17 years, considering contemporary purchase price and 80 % bank loan.

Key words

Photovoltaic power plant, photovoltaic board, protection, distribution network, negative-sequence component, connection rules, subsidy programs, high voltage part, low voltage part, capital appreciation

Seznam použitých symbolů a zkratek

AC		Střídavá soustava
atd.		A tak dále
c		Činitel flikru zařízení
DC		Stejnoseměrná soustava
DS		Distribuční soustava
E_A	[eV]	Akceptorová energetická hladina
E_C	[eV]	Dolní hladina vodivostního pásu
E_c	[eV]	Nejnižší hladina vodivostního pásu
E_D	[eV]	Donorová hladina energie
E_f	[eV]	Fermiho energie
E_v	[eV]	Nejvyšší hladina valenčního pásu
ΔE_g	[eV]	Šířka zakázaného pásu křemíku
el.		Elektrický
EZ		Energetický zákon
FVE		Fotovoltaická elektrárna
HDO		Hromadné dálkové ovládání
I_E	[A]	Kapacitní proud zemního spojení v síti
k	[J·K ⁻¹]	Boltzmannova konstanta
MPO		Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky
NN		Nízké napětí
např.		Například
obr.		Obrázek
P_{max}	[MW]	Maximální výkon
P	[MW]	Okamžitý výkon elektrárny
PDS		Provozovatel distribuční soustavy

P_{lt}	[h]	Dlouhodobá míra vjemu flikru
PPS		Provozovatel přenosové soustavy
PS		Přenosová soustava
PV		Zkratka z anglického slova photovoltaic
T	[K]	Absolutní termodynamická teplota
TS		Trafostanice
tzv.		Takzvaný
S_{kv}	[VA]	Poměr zkratového výkonu sítě
S_{rA}	[VA]	Jmenovitý výkon celého zařízení
S_{nE}	[VA]	Jmenovitý zdánlivý výkon zařízení
U_n	[V]	Jmenovité napětí sítě
U_{TP}	[V]	Dovolené dotykové napětí
ΔU	[V]	Změna napětí
VN		Vysoké napětí
W_p		Watt-peak – jednotka špičkového výkonu
μ	[%]	Účinnost
λ	[m]	Vlnová délka
φ_i	[°]	Fázový úhel proudu vlastního zdroje
ψ_{kv}	[°]	Fázový úhel zkratové impedance

Obsah

1	Úvod	1
2	Fotovoltaické elektrárny	2
2.1	Druhy elektráren	2
2.2	Princip funkce fotovoltaických elektráren.....	4
2.3	Technologie	9
2.3.1	Solární fotovoltaické panely	9
2.3.2	Koncentrátory.....	10
2.3.3	Akumulátory	11
2.3.4	Střídače.....	12
3	Ochrana před bleskem a přepětím pro FVE zdroje.....	13
3.1	Legislativa	13
3.2	Škody na fotovoltaických zdrojích	13
3.3	Řízené riziko.....	14
3.4	Všeobecný postup pro návrh fotovoltaických systémů	14
3.5	Ochrana před bleskem a přepětím pro fotovoltaické elektrárny	15
4	Zpětné vlivy FVE na provoz distribuční soustavy a jejich eliminace	18
4.1	Změna napětí.....	18
4.2	Flikr	18
4.3	Útlum HDO	19
4.4	Proudy harmonických.....	20
4.4.1	Výrobní v síti NN	20
4.4.2	Výrobní v síti VN	21
5	Současná legislativa – podmínky připojení, dotační programy.....	23
5.1	Plánovací a připojovací předpisy pro distribuční soustavu	23
5.1.1	Rozsah plánovacích a připojovacích předpisů	24
5.1.2.	Cíle plánovacích a připojovacích předpisů	24
5.2	Dotační programy	24
5.2.1	Cíl programu EFEKT	25
5.2.2	Právní a věcný základ programu.....	25
5.2.3	Účel podpory	25
5.2.4	Podmínky poskytnutí dotace.....	26

6	Technické podmínky pro připojení v dané lokalitě.....	27
6.1	Technické parametry pro danou lokalitu	27
6.2	Připojení vlastní výroby – strana NN	27
6.2.1	Technické parametry	27
6.2.2	Technické řešení.....	29
6.3	Připojení vlastní výroby – strana VN	33
6.3.1	Technické parametry	33
6.3.2	Technické řešení.....	35
7	Ekonomické zhodnocení investice s výhledem na životnost FVE.....	37
7.1	Investiční náklady	37
7.2	Provozní náklady	38
7.3	Očekávané výnosy	38
7.4	Ekonomické zhodnocení investice	39
8	Závěr	42
	Použitá literatura.....	44
	Seznam obrázků.....	45
	Seznam tabulek.....	46
	Seznam příloh	47

1 Úvod

Sluneční energii je možno využívat mnoha způsoby. Může to být například výroba teplé vody, nebo výroba elektrického proudu podobně jako při využívání síly vody nebo energie větru. Přímou výrobu elektrického proudu pomocí solárních článků, takzvanou fotovoltaickou techniku si již nelze z dnešního moderního světa odmyslet. V základní části bakalářské práce je proveden stručný popis fotovoltaických elektráren a jejich princip funkce. Fyzikální podstata fotovoltaické přeměny je zde uvedena v širším rozsahu. Obecně lze konstatovat, že k přeměně sluneční energie na energii elektrickou dochází v polovodičových fotovoltaických článcích, kde se energie dopadajících fotonů mění na energii elektrickou. V dalším článku je veden výběr základní technologické prvky pro FVE. Základním prvkem jsou solární fotovoltaické panely. V podstatě se jedná o zapojení několika fotovoltaických článků do série. Další technologií mohou být koncentrátoři. Tato optická zařízení odebírají sluneční záření z velké plochy a soustředí jej na malou plochu fotovoltaického modulu. Pro ukládání elektrické energie se používají elektrochemická zařízení, a to akumulátory, které lze opakovaně nabíjet. Elektrický přístroj, který převádí stejnosměrné napětí na napětí střídavé, se nazývá střídač neboli invertor.

Další část bakalářské práce se věnuje ochranám před bleskem a přepětím pro fotovoltaické zdroje. Škody na fotovoltaických zdrojích mohou vzniknout na panelech, invertorech, vnitřních elektrických a elektronických systémech. Jednotlivé statě podkapitoly popisují, jak minimalizovat škody těchto komponentů.

Distribuční soustava a její regulace byla původně navržena na klasickou distribuci elektrické energie od definovaných zdrojů ke spotřebičům. Vlivem širokého nasazení rozptýlených zdrojů elektrické energie do distribuční soustavy vznikají velké problémy, které se označují jako zpětné vlivy na napájecí síť. V případě rozptýlených zdrojů jsou to především fotovoltaické elektrárny, u kterých je prakticky nemožné ovlivnit výrobu v čase. V této kapitole je uveden přehled a popis zpětných vlivů FVE na provoz distribuční soustavy.

V páté kapitole je popsána současná legislativa, která obsahuje plánovací a připojovací předpisy pro distribuční soustavu a dotační programy. Plánovací a připojovací předpisy pro DS stanovují především technická, návrhová kritéria a procedury, které má provozovatel distribuční soustavy dodržovat. Současná legislativa pro dotační programy na podporu obnovitelných zdrojů je stanovena Ministerstvem průmyslu a obchodu, které určilo rozpočet programu EFEKT na rok 2012 celkem 30 mil. Kč.

Praktická část práce řeší komplexní technické řešení fotovoltaické elektrárny pod názvem **FVE SB Fotoenergie Horní Moštěnice 0,6 MW** v katastrálním území Horní Moštěnice, okres Přerov, technické podmínky pro připojení v dané lokalitě a ekonomické zhodnocení investice s výhledem na životnost FVE. Investorem této stavby je společnost SIGNALBAU, a.s. se sídlem Moštěnská 60/4a, PSČ 750 02 Přerov III – Lověšice.

2 Fotovoltaické elektrárny

Proces přeměny sluneční energie na energii elektrickou se odborně nazývá fotovoltaika. Tato získaná energie je ve formě stejnosměrného proudu. Buď se přímo spotřebovává, nebo se uchovává v akumulátorových bateriích, nebo se pomocí AC Invertorů mění na složku střídavou, a poté se dodává do distribuční sítě.

Při výběru vhodného solárního systému je třeba mít na paměti nejen průměrné hodnoty slunečního svitu a účinnost panelů, ale také budoucí polohu a umístění systémů v reliéfu okolního terénu. Také v úsporách ekonomické stavby hraje důležitou roli celková spotřeba všech používaných zařízení, která budou k fotovoltaickému systému připojeny.

Nejvíce rozšířené fotovoltaické panely v současné době jsou křemíkové. Různým zpracováním křemíku lze vyrobit monokrystalické, polykrystalické a amorfni fotovoltaické články. Monokrystalická buňka má tvar černého osmiúhelníku a polykrystalická buňka je zbarvena modře ve tvaru čtverce. V praxi se používají převážně monokrystalické panely.

Významnou vlastností solárních článků je snadnost jejich vzájemného propojení za účelem sestavení větších celků. Tyto celky se nazývají solární moduly nebo také fotovoltaické moduly a představují základní stavební jednotky fotovoltaických systémů. V jednom solárním panelu je běžně 36 článků o výstupním napětí 12 V nebo 72 článků o napětí 24 V. Solární panely mají různé výkony 150, 180 až 280 W. Výkonovou jednotkou panelů je Wattpeak (Wp) neboli tzv. špičkový výkon, což je výkon naměřený za daných podmínek (ozáření 1000W/m², teplota 25°C). Účinnost solárních panelů je 14 – 17%, životnost cca. 30 let. [1]

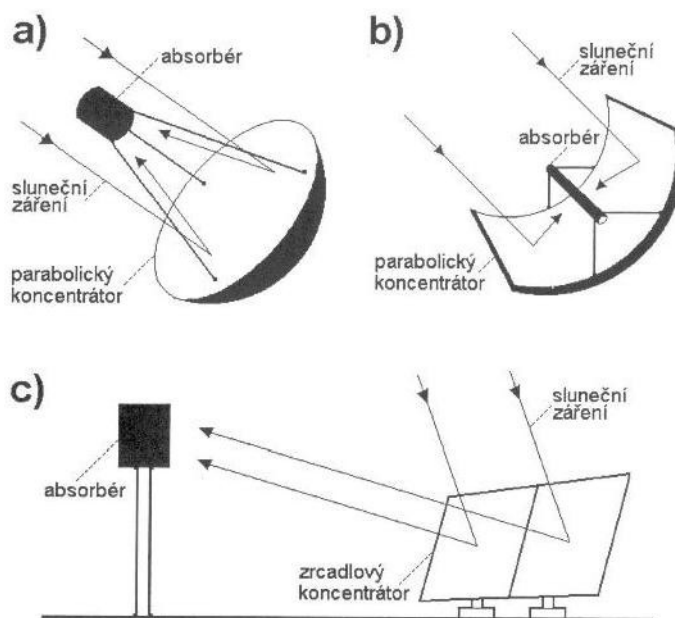
2.1 Druhy elektráren

Přeměna solární energie na jiné formy má již letitou tradici. Pomineme-li starověké aplikace i moderní kuriozity, můžeme zmínit ohřev různých médií (nejčastěji vody či oleje) koncentrací slunečního záření do ohniska parabolického zrcadla, jak naznačuje obr. 1. V podmínkách zemí s dostatkem slunečního svitu se koncentrace záření běžně používá k vaření a například již v roce 1883 na Světové výstavě v Paříži předváděli A. Mouchot a A. Pifr z Francie zařízení, ve kterém se podle obr. 1a tvořila pára, která poháněla parní stroj a následně tiskařský stroj na tisk novin.

Na stejném principu pracují i některé pokusné elektrárny, ve kterých je koncentrované sluneční záření využito k tvorbě páry, která pohání parní turbínu a následně s rotorem spojený generátor elektrické energie. Parogenerátory pracují nejčastěji na principu obr. 1b (tzv. žlabové uspořádání) nebo na obr. 1c (tzv. věžové uspořádání). Tento princip je tedy analogický s klasickými elektrárnami, jen primární okruh je specifický. Několik takových elektráren pracuje s maximálními výkony $P_{\max} = 10\text{--}30 \text{ MW}$, nejvíce jich je v Kalifornii a Novém Mexiku, kde je v průměru 320 slunečních dní v roce, některé jsou i v Evropě. Pára se dá ohřívat až na teplotu 560°C a po zdokonalení a optimalizaci technologie se dosahuje účinnosti elektrárny až na 17%. Některé věžové elektrárny používají ještě olejový či šterkový akumulátor tepelné energie, aby turbogenerátor mohl pracovat ještě nějakou dobu po západu Slunce. I když tento systém elektráren vypadal zpočátku slibně, dodnes zůstal ve stádiu pokusných zařízení a nedostalo se mu většího rozšíření. [1]

Nevýhodou tohoto typu elektráren je, že i s moderní počítačovou vybaveností je velký technický i finanční problém řízení nastavování všech zrcadel s přesností $\Delta\varphi \leq 0,1^\circ$. Zrcadla je třeba stále čistit a při ploše až 40m^2 často neodolají větru. Množství vyrobené energie W za čas t je dáno

vztahem: $W = \int_{\Delta t} P dt$, kde P je okamžitý výkon elektrárny. (1)

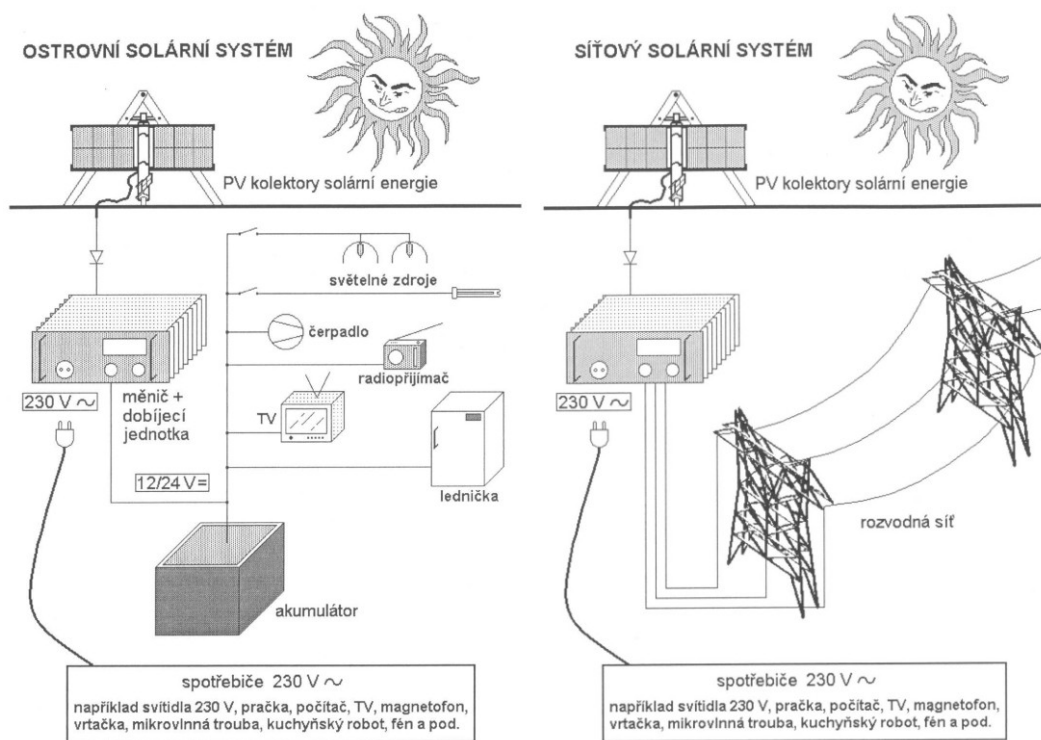


Obr. 1: Koncentrátory slunečního záření

(zdroj: LIBRA, M., POULEK, V. Zdroje a využití energie.)

Dnes nejrozšířenější a nejperspektivnější princip přeměny solární energie na elektrickou je přímá přeměna v polovodičových fotovoltaických panelech. Roční výroba a instalace PV panelů v roce 2005 převýšila 1000 MW/rok a nadále vykazuje prudký růst. Solární elektrárny z PV panelů se instalují po celém světě od malých systémů s maximálními výkony řádově jednotek kilowatů (i menší) až po elektrárny s maximálními výkony MW. Stejnosměrný elektrický proud lze použít k napájení spotřebičů, k dobíjení akumulátorů či k výrobě vodíku elektrolýzou vody a k akumulaci energie v této formě. Pomocí měničů lze stejnosměrný proud měnit i na proud střídavý.

Tyto malé fotovoltaické systémy i větší elektrárny mohou být konstruovány jako ostrovní nebo síťové. **Ostrovní PV systémy** nejsou napojeny na rozvodnou síť a zásobují jen malou oblast, někdy to může být i jediný spotřebič. Spotřeba energie je potom limitovaná množstvím energie, kterou fotovoltaický systém vyrobí. Při konstrukci takového systému je třeba počítat s průměrnými hodnotami slunečního svitu v místě instalace s celkovou spotřebou všech používaných zařízení i s účinností celého PV systému. Naproti tomu **síťové PV systémy** jsou napojeny na veřejnou rozvodnou síť, v době přebytku vlastního výkonu mohou dodávat energii do sítě a v době nedostatku vlastního výkonu mohou ze sítě energii odebírat. Moderní měniče renomovaných výrobců se samy automaticky sfázují se sítí a při poklesu napětí v síti se automaticky odpojí z bezpečnostních důvodů, aby v odstavené síti nebylo elektrické napětí. Datový výstup umožňuje sledovat okamžitý dodávaný výkon (ve wattech) i celkové množství vyrobené energie (v joulech). Schéma ostrovního PV systému je na obr. 2 a schéma síťového PV systému je na obr. 3. [1]



Obr. 2: Schéma ostrovního PV systému

Obr. 3: Schéma síťového PV systému

(zdroj: LIBRA, M., POULEK, V. Zdroje a využití energie.)

2.2 Princip funkce fotovoltaických elektráren

Solární elektrárny získávají energii ze slunečního záření. Tuto energii přeměňují na energii elektrickou buď přímo prostřednictvím fotoelektrických článků pracujících na principu fotoelektrického jevu, nebo prostřednictvím ohřevu média v solárních kolektorech.

Fyzikální podstata fotovoltaické přeměny energie

K fotovoltaické přeměně energie elektromagnetického záření na energii elektrickou dochází v polovodičových fotovoltaických (PV) článcích. Nejběžnější jsou PV články na bázi krystalického křemíku.

Podle typu nosiče náboje dělíme polovodiče na vlastní (intrinsické) a příměsové. Příměsové polovodiče mohou být dopované typu N (majoritními nosiči náboje jsou elektrony) nebo typu P (majoritními nosiči jsou díry, které se chovají jako částice s kladným nábojem). [1]

Křemík (atom Si obsahuje 14 elektronů) má krystalovou strukturu diamantu, takže každý atom Si je obklopen čtyřmi sousedy. Poslední čtyři elektrony (valenční) vytvářejí s těmito sousedy kovalentní vazby. Energie volného elektronu, který nepodléhá působení žádných sil, může nabývat libovolných hodnot. Naproti tomu energie elektronu v krystalu křemíku nabývá pouze určitých hodnot v důsledku pohybu v poli periodického potenciálu. Tyto hladiny energie jsou rozděleny do pásů

nazývaných „pásky dovolených energií“. Pásky dovolených energií jsou odděleny „pásky zakázaných energií.“ [1]

Důležitou roli hrají tyto pásky: valenční pás (za velmi nízkých teplot poslední obsazený), poslední zakázaný pás a vodivostní pás (za velmi nízkých teplot první neobsazený). Valenční pás sestává z energetických stavů valenčních elektronů. Protože těchto stavů je stejný počet jako valenčních elektronů v celém krystalu, budou za velmi nízkých teplot všechny obsazené. Po valenčním pásu následuje pás vodivostní, jehož stavy za velmi nízkých teplot nejsou obsazené. Uvnitř pásky dovolených energií jsou rozdíly mezi jednotlivými energetickými hladinami neměřitelně malé.

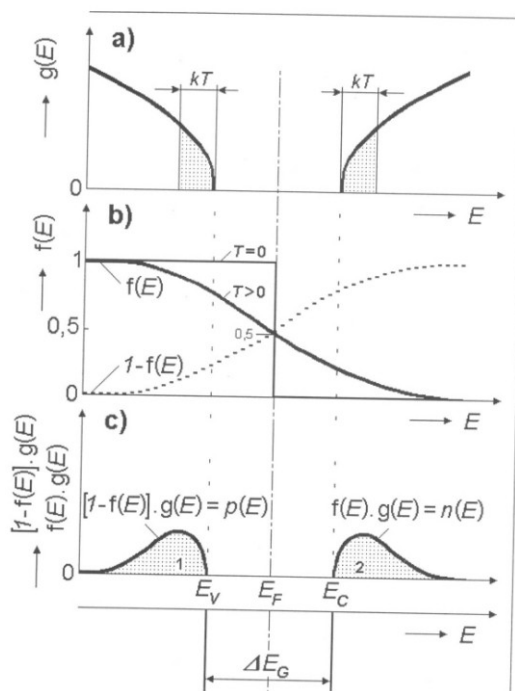
Nejvyšší hladina valenčního pásu se označuje E_v , nejnižší hladina vodivostního pásu bývá zpravidla označována jako E_c . Další důležitou energetickou hladinou je tzv. Fermiho energie E_f .

Šířka zakázaného pásu tedy je $\Delta E_g = E_c - E_v$ (2)

U vlastního polovodiče (např. čistého křemíku) leží hladina Fermiho energie uprostřed zakázaného pásu. V nejnižším energetickém stavu valenční elektrony úplně obsazují všechny hladiny ve valenčním pásu, nemohou zprostředkovat vedení el. proudu. Dodáním energie např. tepelné (fonon) nebo světelné (foton), některé elektrony přejdou do vodivostního pásu. Valenční i vodivostní pás se stanou pásky částečně obsazenými. V energetickém schématu se to projeví tak, že tyto elektrony uvolní energetické hladiny ve valenčním pásu a obsadí hladiny s vyšší energií ve vodivostním pásu. Stanou se tak elektrony, které mohou zprostředkovat vedení el. proudu. U některých atomů křemíku tak vznikla prázdná místa. Bud' zde mohou opět uvíznout volné elektrony, což se v energetickém schématu projeví jako zpětné přestupy elektronů z vodivostního pásu na příslušné hladiny ve valenčním pásu, nebo sem mohou přeskakovat elektrony od sousedních atomů. Tím se ale prázdná místa posunou k sousedním atomům a dalšími podobnými přeskoky se mohou dále posouvat. V elektrickém poli se volné i přeskakující valenční elektrony posunují proti směru intenzity elektrického pole, neboť mají záporný elektrický náboj. To znamená, že prázdná místa se posunují ve směru pole. Prázdné místo se tedy chová jako částice s kladným nábojem a jinou hmotností, než jakou má volný elektron. Tato částice se označuje „díra“. [1]

Ve vlastním (intrinsickém) polovodiči uvolnění z jednoho elektronu z valenčního pásu znamená vznik jedné díry, počet volných elektronů a děr je tedy stejný. Krystal navenek zůstává elektricky neutrální. Je-li generace páru elektron-díra vyvolána dopadajícím fotonem, energie fotonu musí být větší nebo rovna šířce zakázaného pásu. Fotony s menší energií polovodičem procházejí a fotony s větší nebo rovnou energií generují páry elektron-díra, a tak se pohlcují. Křemík má šířku zakázaného pásu zhruba $\Delta E_g \approx 1,1 \text{ eV}$, je proto transparentní pro fotony s nižšími energiemi, kterým odpovídají vlnové délky zhruba větší než $\lambda \geq 1100 \text{ nm}$, viz vztah pro energii fotonu:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \text{ kde } h \text{ je Planckova konstanta, } \nu \text{ je frekvence a } c \text{ je rychlost světla. [1]} \quad (3)$$



Obr. 4: Důležité charakteristiky vlastního polovodiče
(zdroj: LIBRA, M., POULEK, V. Zdroje a využití energie.)

Obr. 4 graficky znázorňuje důležité charakteristiky vlastního polovodiče. Na obr. 4a je znázorněna funkce $g(E)$, která představuje hustotu stavů (počet stavů na jednotkový interval energií) ve valenčním a vodivostním pásu v závislosti na energii. Funkce $f(E)$ (tzv. rozdělovací funkce – obr. 4b) udává pravděpodobnost osazení stavu s energií E elektronem. Hodnota $1 - f(E)$ je pravděpodobnost neobsazení stavu elektronem. Jak je vidět z obrázku 4, pravděpodobnost, že částice bude nabývat energii odpovídající Fermiho energii E_F , je 0,5. Elektrony patří do skupiny částic zvaných fermiony a řídí se Fermi – Diracovou statistikou. To znamená, že rozdělovací funkci na obr. 4b lze matematicky vyjádřit ve tvaru:

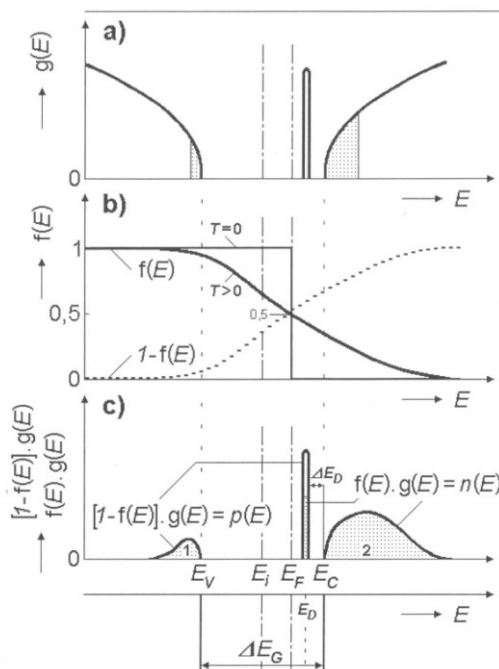
$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{kT}} + 1} \quad (4)$$

kde k je Boltzmannova konstanta a T je absolutní termodynamická teplota v kelvinech.

Na obr. 4c funkce $f(E)g(E) = p(E)$ udává koncentraci elektronů ve vodivostním pásu, funkce $[1-f(E)]g(E) = n(E)$ udává koncentraci děr ve valenčním pásu při nenulové teplotě. Vytečkové plochy 1 a 2 pod křivkami jsou úměrné těmto koncentracím. U vlastního polovodiče mají tyto plochy stejnou velikost. [1]

Nahradí-li se v krystalu křemíku některé atomy Si atomy prvku V. skupiny Mendělejevovy periodické tabulky prvků jako např. As, P, Sb, které mají 5 valenčních elektronů, pak 4 z nich budou vázány kovalentní vazbou s nejbližšími atomy Si. Pátý elektron bude jen slabě vázán k atomu příměsi. Takto dopovaný polovodič nazýváme polovodičem typu N. Dodáním relativně malé energie se tento elektron „utrhne“, což se v energetickém schématu projeví tak, že přejde do vodivostního pásu. Tyto

přítomné atomy se nazývají donory, protože dodávají volné elektrony. Přítomnost atomů takové příměsi se projeví v energetickém schématu vznikem lokálních energetických hladin, které leží v zakázaném pásu v blízkosti dolní hladiny vodivostního pásu E_c . [1]



Obr. 5: Důležité charakteristiky polovodiče typu N
(zdroj: LIBRA, M., POULEK, V. Zdroje a využití energie.)

Na obr. 5 jsou znázorněny pro polovodič N analogické závislosti jako pro vlastní polovodič zobrazený na obr. 4. Donorová hladina energie je označena E_d . Energie ΔE_D potřebná pro přechod elektronu z této hladiny do vodivostního pásu je relativně malá, řádově $\Delta E_D \approx 0,01$ eV. Při pokojové teplotě (tepelná energie dodaná elektronu je kolem $kT = 0,025$ eV) může elektron snadno přejít do vodivostního pásu. Hladina Fermiho energie je posunuta směrem k vyšším energiím viz obr. 5. Vzhledem k malé hodnotě ΔE_D jsou při pokojové teplotě (i při nižších teplotách) donorové atomy ionizovány (tvoří kladný prostorový náboj) a koncentrace elektronů ve vodivostním pásu je mnohem vyšší než koncentrace děr ve valenčním pásu vzniklých též tepelnou excitací, ale přes celý zakázaný pás (minoritní nosiče).

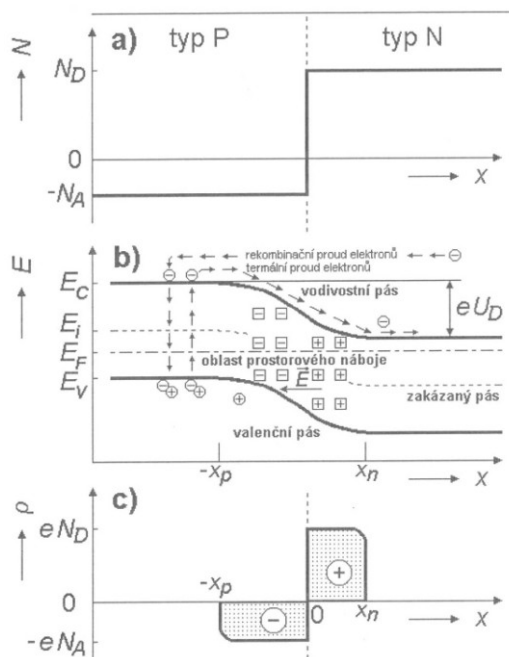
Nahrazením atomu v krystalu křemíku Si jinými atomy III. skupiny periodické tabulky prvků např. atomy B, Al, Ga (tyto příměsi obsahují pouze 3 valenční elektrony) se docílí toho, že jedna vazba těchto atomů nebude zaplněna a bude se chovat jako díra. V důsledku tepelné energie může do nezaplněné vazby přeskočit valenční elektron od sousedního atomu Si a díra se může pohybovat krystalem. Takto dopovaný polovodič se nazývá polovodič typu P a příměsi, které tvoří záchytná centra pro elektrony, se nazývají akceptory. [1]

V energetickém schématu se to projeví analogicky se situací na obr. 5 pro polovodič typu N. Vznikne akceptorová energetická hladina E_A v zakázaném pásu blízkosti horního okraje valenčního pásu. Dodáním relativně malé energie ΔE_A se na této hladině mohou zachytit elektrony přeskokem

z valenčního pásu, kde po nich zůstane díra. Takový atom akceptoru má potom o elektron víc a je navenek záporně nabitý. Tvoří pevně vázaný záporný náboj. Díra, která je tím generována ve valenčním pásu, je uvnitř krystalu volně pohyblivá. Znamená to, že v polovodiči typu P je koncentrace děr mnohem vyšší, než koncentrace volných elektronů (minoritní nosiče) a hladina Fermiho energie je posunuta směrem k nižším energiím.

Pokud je v krystalu nehomogenní koncentrace příměsí, tedy některá oblast je dopovaná více a jiná méně stejným či opačným typem příměsí, volné nosiče náboje (elektrony a díry) mají snahu podle zákonitostí difúze unikat z míst s vyšší koncentrací do míst s nižší koncentrací a vytvořit rovnoměrné rozložení. V případě, že volné nosiče z některých oblastí unikají, zůstávají na původních místech pevně vázané náboje ionizovaných příměsí s opačným znaménkem, které tvoří prostorový náboj. Tak uvnitř krystalu vznikají poměrně silná lokální elektrická pole, i když navenek se krystal jeví jako elektricky neutrální. Tato pole brání dalšímu unikání volných nosičů z míst s vyšší koncentrací a systém se ustálí v rovnovážném stavu. [1]

Speciálním případem nehomogenního rozložení příměsí je strmý přechod PN, viz obr. 6.



Obr. 6: Důležité charakteristiky přechodu PN

(zdroj: LIBRA, M., POULEK, V. Zdroje a využití energie.)

Ten vzniká tehdy, jestliže část krystalu je dopována jako polovodič typu P a sousední část je dopována jako polovodič typu N. V místě přechodu je gradient koncentrace volných nosičů $\text{grad } N$ ve směru přechodu, který je na obr. 6a ztotožněn se směrem x , přičemž N_D je koncentrace donorů, N_A je koncentrace akceptorů. To znamená, že část volných elektronů přejde z oblasti typu N do oblasti typu P a část děr opačně. Pevně vázané náboje ionizovaných příměsí vytvoří oblasti prostorového náboje (v polovodiči typu N kladný, obr. 6c) a mezi nimi vznikne elektrické pole, které brání dalšímu toku volných nosičů. Hladina Fermiho energie musí být v rovnovážném stavu vyrovnána v celém krystalu, proto dochází k ohybu pásů v místě přechodu. Idealizovanou situaci znázorňuje obr. 6b.

Šířka přechodu PN je dána body x_p a x_n , U_D je potenciálový rozdíl mezi různě dopovanými oblastmi tzv. difúzní napětí. [1]

Takto popsaný přechod PN může být jednoduchou polovodičovou diodou. Systém v rovnovážném stavu je však ve stavu dynamické rovnováhy (nikoli statické), to znamená, že v celém objemu polovodiče při teplotě $T > 0K$ neustále dochází ke generaci i rekombinaci elektronů a děr. Přes přechod PN tedy tečou elektrické proudy oběma směry, jak je naznačeno na obr. 6b. Situace je znázorněna jen pro proudy elektronů, proudy děr se chovají analogicky. Některé elektrony v polovodiči typu N mohou mít vyšší energii, než jaká odpovídá potenciálové bariéře difúzního napětí U_D . Tyto elektrony mohou přecházet přes přechod PN do polovodiče typu P, kde rekombinují s volnými dírami. Tento proud se nazývá rekombinační. Současně v polovodiči typu P dochází ke generaci párů volných elektronů a děr, volné elektrony jsou v elektrickém poli přechodu PN urychleny směrem do polovodiče typu N. Tento proud se nazývá termální nebo difúzní. Bez přiložení vnějšího napětí jsou proudy v obou směrech vyrovnané a navenek se neprojeví. V případě přiložení vnějšího napětí a uzavření elektrického obvodu dojde k porušení rovnováhy. Je-li kladné znaménko na straně typu P, změní se zakřivení pásů, dojde ke snížení potenciálové bariéry U_D o hodnotu ΔV , a tím k převládnutí proudu elektronů směrem do polovodiče typu P a děr opačně. Přechod PN je tak orientován v propustném směru. Při opačné polaritě vnějšího napětí dochází ke zvýšení potenciálové bariéry U_D , a tím ke snížení rekombinačního proudu. Převládá termální proud, který je však nižší v důsledku nízké koncentrace elektronů v polovodiči typu P. Přechod PN je tak orientován v závěrném směru. [1]

2.3 Technologie

2.3.1 Solární fotovoltaické panely

Fotovoltaické články jsou poměrně komplikované, citlivé a drahé. Mají-li plnit svou funkci po řadu let, je nutné je dokonale chránit před znečištěním, korozí a mechanickým poškozením. Jejich napětí je malé a pro praktické využití je nutno zapojit větší počet článků do série. Taková baterie zapouzdřených a do série zapojených solárních článků se nazývá fotovoltaický panel nebo modul. U fotovoltaických elektráren, kde je více zapojených solárních modulů do série, bývá zpravidla takto označováno fotovoltaické pole.

Struktura fotovoltaického panelu:

Nejčastěji se na horní stranu modulu dává kalené sklo, které v kombinaci s pevným hliníkovým (duralovým) rámem zajistí dostatečnou pevnost a mechanickou odolnost. Vhodné je sklo se sníženým obsahem železa, které má lepší propustnost pro světlo v červené a blízké infračervené oblasti spektra. Moderní články mají antireflexní vrstvu, která snižuje ztráty světla odrazem a zvedne tak účinnost o několik procent. U monokrystalických článků tvoří často antireflexní vrstvu nitrid křemíku nanášený vakuovým napařováním. Snížení reflexe lze také dosáhnout vytvořením gradientu indexu lomu nebo vytvořením textury na povrchu. Jednou z možností je leptání bombardováním povrchu ionty ve vakuové komoře s použitím chloru nebo směsi hexafluoridu síry a kyslíku. [2]

Dokonalou těsnost modulu zajišťuje vakuová laminace s použitím fólií z EVA (ethylenvinyl acetátového kopolymetru). Na zadní stranu panelu může také přijít sklo nebo se častěji používá fólie Tedlaru (fluoropolymer, který je nepropustný pro vodní páru a velmi odolný proti UV záření). Modul se zpravidla usazuje do pevného rámu, aby nedošlo při zatížení větrem nebo sněhem k deformaci a případnému prasknutí modulu. U tenkovrstvých solárních článků, kde se požaduje, aby byly ohebné, nelze sklo použít, využívají se tedy plastové fólie nebo nerezová ocel. Výsledná sestava obsahuje více vrstev, viz obr. 7, které plní různé funkce. Důležité je, aby bylo dokonale zamezeno vnikání vlhkosti k p-n přechodu fotovoltaického článku. [2]



Obr. 7: Schematické znázornění struktury tenkovrstvého ohebného článku s PVC fóliemi
(zdroj: MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMEŠ, M. Fotovoltaika. Elektřina ze slunce. 1.)

2.3.2 Koncentrátory

Koncentrátor záření je optické zařízení schopné „sebrat“ sluneční záření z velké plochy a soustředit je na malou plochu fotovoltaického modulu a výrazně tak zvýšit jeho výkon. Použití koncentrátoru je výhodné proto, že jeho cena je zpravidla značně nižší než cena solárního modulu.

Fotovoltaické články také často poskytují při vyšším světelném toku vyšší účinnost a navíc lze používat účinnější typy článků, které jsou příliš drahé pro běžné použití a dosud se používaly jen na kosmických plavidlech. [2]

Rozdělení koncentrátorů podle použití

- koncentrátory zrcadlové – s rovinným zrcadlem, s parabolickým zrcadlem, CPC
- koncentrátory čočkové – běžné spojné čočky, Fresnelovy čočky
- koncentrátory založené na jiných principech např. dielektrické nebo fluorescenční

Koncentrátory soustředující záření ze směru dvou prostorových os se nazývají 3D koncentrátory. Ty, které soustředují záření do ohniskové přímky, se popisují jako 2D koncentrátory. [2]

2.3.3 Akumulátory

Pro ukládání elektrické energie v izolovaných zařízeních se dnes používají výhradně elektrochemická zařízení, a to akumulátory, které lze opakovaně nabíjet. V protikladu k bateriím, které nelze znovu nabíjet (primární články), se nazývají sekundární články. V akumulátorech se ukládá elektrický proud prostřednictvím vratných chemických pochodů. Existují různé konstrukce, které se liší především prvky zúčastňujícími se procesu ukládání. [3]

Nejznámější typy používaných akumulátorů

- Olověné akumulátory
- Nikl – kadmiové akumulátory
- Nikl – metalhydridové akumulátory
- Lithium – iontové akumulátory

V izolovaných zařízeních se dnes z ekonomických důvodů používají téměř výhradně dlouhodobě osvědčené olověné akumulátory.

Akumulátor je opravdu citlivá komponenta solárního zařízení, která může být i zdrojem různých nebezpečí. Aby byla zajištěna bezpečná funkce, je zapotřebí dodržet níže uvedené body.

- a) Akumulátor je nutno umístit na místě chráněném před mrazem a venkovními vlivy. Aby bylo možno zachycovat a odstraňovat případnou unikající kyselinu, musí být podlaha a stěny opatřeny silným nátěrem odolným proti kyselinám nebo olejovou barvou.
- b) Akumulátory by měly být instalovány v centru systému a měly by být snadno přístupné. Jedním z důvodů je snadnější ověřování stavu elektrolytu a druhým je zkrácení přívodu zajišťující nízké ztráty.
- c) U mobilních aplikací je třeba dbát na dostatečné mechanické upevnění akumulátoru. Póly akumulátoru je nutno zakrýt tak, aby např. upadnuté nářadí nezpůsobilo zkrat.
- d) K ochraně proti výbuchu uvolňujícího se vodíku, který vzniká zejména na konci nabíjení a při vybíjení, je třeba se postarat o dostatečné větrání prostoru akumulátoru. Zamezení výbuchu se dá také docílit tím, že se na akumulátor připojí centrální odvětrávací zařízení, které nahromaděný vodík odvede. V prostoru akumulátoru se nesmí používat otevřený plamen.
- e) Kabelové svorky pro připojení akumulátoru musejí být dimenzovány na velké proudy. V případě vysokých ztrát na kontaktech by teplo uvolňované na přechodovém odporu mohl způsobit roztavení pólů akumulátoru. [3]

- f) Akumulátor musí být chráněn hlavní pojistkou z důvodu velkých nadproudů vzniklých při zkratu. [3]

2.3.4 Střídače

Střídač neboli Invertor, je elektrický přístroj, který převádí stejnosměrné napětí na střídavé. „Rozsekání“ stejnosměrného proudu na střídavý se provádí elektronicky výkonovými tranzistory, s jejichž pomocí se proud až 20 000x za sekundu vypíná a zapíná. Tento rozsekaný stejnosměrný proud je pak možno pomocí transformátoru přetransformovat na požadované vyšší výstupní napětí.

Podle oblasti použití rozlišujeme dva druhy střídačů:

- **Izolované střídače** – vyrábějí střídavý proud pro izolovanou síť oddělenou od veřejné rozvodné sítě a pracují bez vnějšího nastavování veličin, jako je frekvence nebo napětí. V izolované síti smí být v provozu vždy jen jeden střídač nebo generátor, protože by jinak v důsledku rozdílných forem elektrického proudu mohlo docházet k poškození přístrojů. Izolované střídače se dodávají s výkonem mezi 100W – 2kW a pro jmenovitá vstupní napětí 12V, 24V a 48V. Jmenovité napětí musí souhlasit se jmenovitým napětím použitého akumulátoru.
- **Střídače paralelní se sítí** – jsou navrženy speciálně pro solární zařízení spojené s elektrickou rozvodnou sítí. Nastavují se na napětí a frekvenci sítě a posílají do sítě vyrobený solární elektrický proud synchronně se sítí. Střídače spojené se sítí (výkon od 100W do 5kW) pracují se vstupním napětím až několik set voltů, aby proudy, a tedy i výkonové ztráty stejnosměrné instalace, byly udržovány na nízké úrovni.

Účinnost střídače:

Dobré střídače dnes dosahují účinnosti až 85% v širokém pracovním rozsahu (např. mezi 30% a 100% jmenovitého výkonu). I při malém vytížení má dobrá účinnost svůj význam, protože střídač má po většinu času k dispozici jen část svého maximálního výstupního výkonu. U střídačů spojených se sítí se často udává tzv. evropská účinnost. K tomu účelu se zajišťuje účinnost při různém vytížení (5%, 10%, 20%, 30%, 50% a 100% jmenovitého výkonu) a vypočítává se vážený průměr odpovídající poměrům ozáření v Evropě. Evropská účinnost tedy udává střední účinnost, které dosahuje střídač v solárních zařízeních ve středoevropských klimatických podmínkách v ročním průměru. [3]

3.3 Řízené riziko

Na základě výše zmíněné vyhlášky je potřeba výpočtem řízeného rizika stanovit třídu ochrany před bleskem LPS dle citované normy nejen pro stavby, kde se nacházejí osoby, ale i pro další typy staveb. Výsledkem výpočtu je určení minimální úrovně ochrany před bleskem, která je dána hladinou ochrany LPL, neboli třídou ochrany LPS. Z hlediska ekonomiky se postupuje od nejnižší třídy LPS IV až po nejvyšší ochranu LPS I. Podmínkou výpočtu je, aby hodnota skutečného rizika dané aplikace v určitém místě byla nižší nebo maximálně rovna hodnotě přípustného rizika R_T (hodnota předepsaná normou pro lidské životy je 10^{-5}). [4]

3.4 Všeobecný postup pro návrh fotovoltaických systémů

Možná místa instalace přepětových ochran jsou tato:

- Rozváděč generátorů
- Vstup (DC) měniče
- Vstup (AC) měniče

Provozní napětí přepětové ochrany je nutno navrhnout tak, aby bylo vyšší, než napětí naprázdno jdoucího generátoru za studeného zimního dne při maximálním slunečním svitu. Přepětové ochrany jsou v různých provedeních a napětích. Také pro napětí generátorů jsou k dispozici speciální přepětové ochrany až do hodnoty 1 000 V. Tyto přepětové ochrany jsou řady DEHNguard s bezpotenciálovým kontaktem pro dálkovou signalizaci stavu svodiče nebo DEHNlimit. Tím dojde k úspoře nákladů na kontrolu (revizi) svodičů po bouřkách.

Ochranná opatření před přepětím jsou účinná jen místně. Součástí fotovoltaických systémů je zejména měnič, který může být vzdálen několik metrů od rozváděče generátoru. Ten je také chráněn svodiči přepětí na straně stejnosměrného napětí. Svodiče přepětí stejných typů jsou instalovány rovněž v rozváděči generátoru. Po snížení příčných přepětí v hlavním stejnosměrném vedení generátoru je doporučeno použití stíněného vedení. [4]

3.5 Ochrana před bleskem a přepětím pro fotovoltaické elektrárny

Na rozhodnutí majitele nebo provozovatele fotovoltaické elektrárny je, bude-li instalována ochrana před bleskem a přepětím. Některé pojišťovny při sjednávání pojišťovací smlouvy nevyžadují žádnou ochranu před bleskem a přepětím. V okamžiku zvýšeného počtu a hlavně výše krytí pojistných událostí vlivem účinku blesku, bude pravděpodobně docházet k restrikcím ze strany pojišťoven.

Škody způsobené na fotovoltaických panelech jsou patrné z obr. 9. [4]



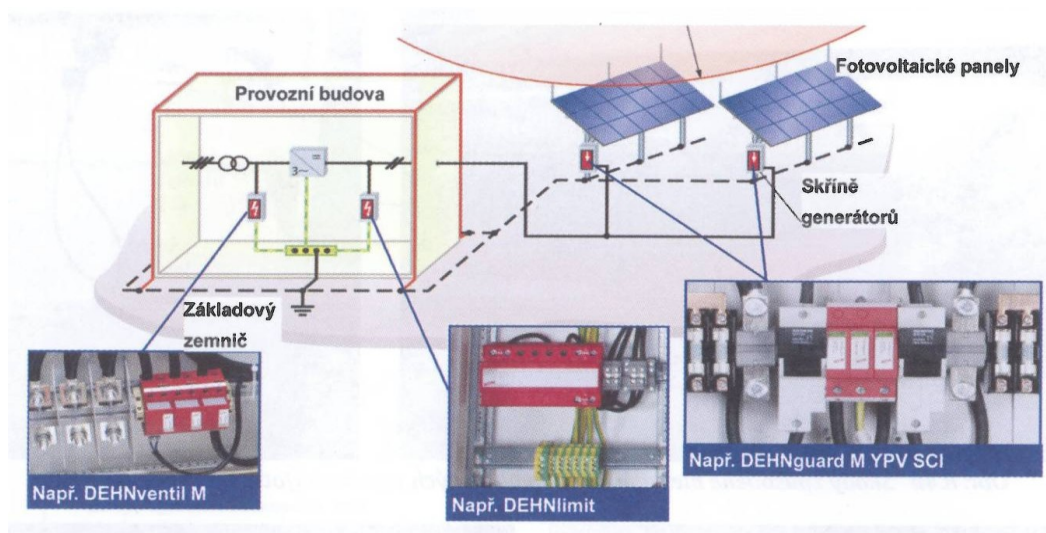
Obr. 9: Škody způsobené bleskem na fotovoltaických panelech
(zdroj: KUTÁČ, J., MERAVÝ, J. *Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudních znalců. 1.*)

Jímací soustava a svody:

Fotovoltaické systémy je nutno umístit do ochranného prostoru oddálené jímací soustavy kvůli přímému úderu blesku. Doporučuje se, aby pro fotovoltaické systémy o výkonu vyšším 10kW se stanovila minimální třída ochrany před bleskem LPS III. Pro přísnější technické a ekonomické řešení je vhodné použít výpočet řízeného rizika dle ČSN EN 62305-2. Počet a délka jímacích tyčí bude stanovena na základě metody valící se koule dle ČSN EN 62305-3.

Dále je nutno dodržet dostatečnou vzdálenost dle ČSN EN 62305-3, čl. 6.3 mezi jímací soustavou a nosnou konstrukcí fotovoltaických panelů. Na provozní budově elektrárny bude instalován hromosvod ve třídě ochrany LPS III. Svody budou připojeny k uzemňovací soustavě přes uzemňovací přívody. Na základě praktických zkušeností z hlediska protikoroze ochrany se doporučuje provést tyto uzemňovací přívody z nerez oceli V4A. Při použití pozinkované oceli je zapotřebí doplnit tyto přívody asfaltovou zálivkou nebo vhodným izolačním náplekem.

Na níže uvedeném obr. 10 je schematicky znázorněna situace vytvoření ochranného prostoru jímací soustavy a koncepce přepětiových ochran fotovoltaické elektrárny. [4]



Obr. 10: Vytvoření ochranného prostoru jímací soustavy a koncepce přepětových ochran
(zdroj: KUTÁČ, J., MERAVÝ, J. *Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudních znalců. 1.*)

Uzemňovací soustava:

Kovové nosné konstrukce, na kterých jsou upevněny fotovoltaické panely, jsou spojeny každých 10 m s uzemňovací soustavou. Uzemňovací soustavu provozní budovy tvoří základový zemnič dle ČSN EN 62305-3. Obě tyto uzemňovací soustavy jsou spolu vzájemně spojeny minimálně jedním drátem o průměru 10 mm, v provedení materiálu V4A nebo pozinkované oceli.

Vzájemné propojení jednotlivých zemničů:

- Snižuje celkový zemní odpor soustavy.
- Značně sníží napětové rozdíly, které vzniknou při úderu blesku na vedení mezi fotovoltaickými moduly a provozní budovou.

Skrytý zemnič by měl být uložen minimálně 0,5 m pod povrchem půdy a jednotlivá oka by měla být spolu vzájemně spojena křížovými svorkami. Místa spojení v zemi jsou opatřena protikorozní ochranou. [4]

Vyrovnání potenciálu proti blesku (pospojování):

Pro všechna metalická vedení, která vstupují do provozní budovy, musí být provedeno vyrovnání potenciálů bleskových proudů.

Pospojování proti blesku se realizuje:

- Přímým připojením všech kovových systémů na hlavní sběrnici pospojování.
- Nepřímým připojením všech živých vodičů přes svodiče přepětí SPD typu 1 k hlavní sběrnici pospojování. [4]

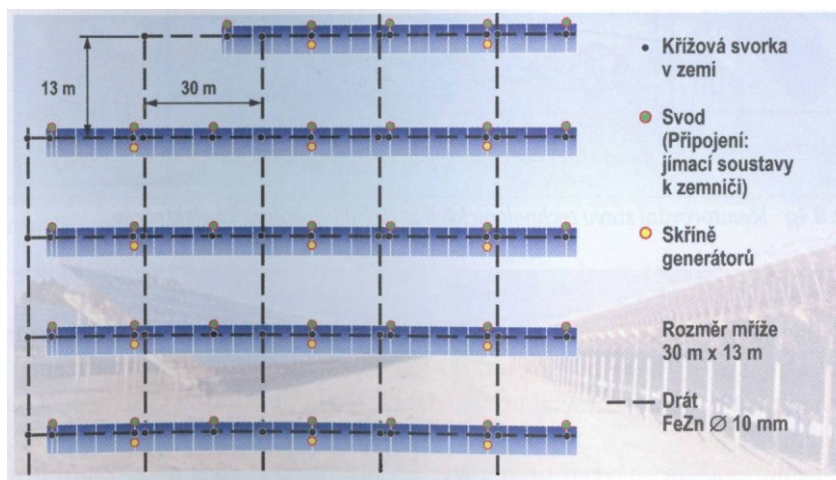
Toto vyrovnání potenciálu má být umístěno co nejblíže vnější zdi provozní budovy, aby bylo zabráněno nekontrolovaným přeskokům bleskového proudu na vnitřní instalace. Dále se nesmí zapomenout na spojovací vedení mezi panely a měniči (stejnosměrné napětí), které je potřeba chránit na vstupu do budovy svodičem bleskového proudu SPD typu 1, např. DEHNlimitem DLM PV 1000 (do hodnoty 1000 V). [4]

Ochranná opatření před přepětím pro FVE panely – oddálené hromosvody:

Svodiče přepětí s tepelnou ochranou, které jsou instalovány v rozváděči generátorů co možná nejblíže, zajistí při úderu blesku snížení namáhání izolace fotovoltaických panelů uvnitř ochranného prostoru oddáleného hromosvodu. Příkladem instalace v rozváděči generátoru je svodič přepětí SPD typu 2 pro stejnosměrnou stranu, např. DEHNguard MYPV SCI.

V praxi se často instalují svodiče přepětí s kontaktem dálkové signalizace stavu nejen vlastního varistoru, ale také integrovaného předjištění. Intervaly mezi vlastními prohlídkami zařízení se prodlouží. Svodiče přepětí, které jsou umístěny v rozváděčích generátorů, budou plnit ochrannou funkci pro fotovoltaické moduly. Zajistí, že přepětí vzniklá na vedení, nebudou zdrojem jiskření v modulech.

Příklad uzemňovací soustavy pro fotovoltaické moduly a zařízení je znázorněno na obr. 11. [4]



Obr. 11: Uzemňovací soustava pro fotovoltaické zařízení na volném prostranství
(zdroj: KUTÁČ, J., MERAVÝ, J. *Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudních znalců. 1.*)

4 Zpětné vlivy FVE na provoz distribuční soustavy a jejich eliminace

Aby nebyla rušena zařízení dalších odběratelů a provozovaná zařízení PDS, je zapotřebí omezit zpětné vlivy místních výroben. Pro posouzení je potřeba vycházet ze zásad pro posuzování zpětných vlivů a jejich přípustných mezí.

Bez další kontroly zpětných vlivů mohou být výrobní připojeny, pokud poměr zkratového výkonu sítě S_{KV} ke jmenovitému výkonu celého zařízení S_{rA} je větší než 500. Pokud výrobce nechá své zařízení ověřit v uznávaném institutu, pak lze do posuzování připojovacích podmínek zahrnout příznivější činitel S_{KV}/S_{rG} (<500). Pro individuální posouzení připojení jedné nebo více vlastních výroben v jednom společném napájecím bodu je třeba vycházet z níže uvedených podmínek, které jsou popsány v následujících podkapitolách. [5]

4.1 Změna napětí

$$\Delta U \leq 3\% U_n - \text{pro společný napájecí bod v síti NN} \quad (5)$$

$$\Delta U \leq 2\% U_n - \text{pro společný napájecí bod v síti VN a 110kV} \quad (6)$$

4.2 Flikr

Flikr je subjektivní vjem nestálosti vizuálních pocitů, vyvolávaný světelnými podněty časovým kolísáním hustoty světla nebo spektrálního rozložení. Vnímatelná změna hustoty světla se pociťuje rušivě až do určité míry opakování.

Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flikr dodržet ve společném napájecím bodě NN a VN mezní hodnotu:

$$P_{lt} \leq 0,46 \quad (7)$$

a ve společném napájecím bodě 110kV mezní hodnotu [5]:

$$P_{lt} \leq 0,37 \quad (8)$$

Dlouhodobá míra flikru P_{lt} jednoho zdroje může být pak určena pomocí činitele flikru c jako:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{KV}}, \text{ přičemž } S_{nE} \text{ je jmenovitý výkon zařízení.} \quad (9)$$

Pokud je hodnota vypočtená podle předchozí rovnice větší než 0,46, je možné do výpočtu zahrnout fázové úhly a počítat podle následujícího vztahu [5]:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{KV}} \left| \cos(\psi_{\text{...}} + \varphi) \right| \quad (10)$$

U výroby s více jednotlivými zařízeními je zapotřebí vypočítat P_{lt} pro každé zvlášť a výslednou hodnotu pro flickr ve společném bodě určit podle následujícího vztahu:

$$P_{ltres} = \sqrt{\sum_i P_{lti}^2} \quad (11)$$

U zařízení s n stejnými jednotkami je výsledný činitel pro flickr [5]:

$$P_{ltres} = \sqrt{n} \cdot P_{lt} = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad (12)$$

4.3 Útlum HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládání (HDO) jsou obvykle provozována s frekvencí v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz. Místně použitou frekvenci HDO je zapotřebí zjistit u PDS. Vysílací úroveň je obvykle 1,5% - 2,5% U_n .

Vysílače HDO jsou dimenzovány na zatížení, jež do určité míry vychází z 50Hz zatížení sítě, kterou napájí svým signálem. Výrobny připojené do přípojnice, do níž se vysílá signál HDO, ho ovlivňují přídavným zatížením vysílačů HDO, které plyne z vlastního zařízení výroby a ze zvýšeného zatížení sítě, které je v důsledku výroby k síti připojeno.

V těchto případech se posuzuje vliv výroby na zatížení vysílače HDO. Vychází se z informace PDS o jeho zatížení a jmenovitém proudu. Přípustné zvýšení zatížení vysílače do 110 kV a VN je 5% jmenovitého proudu. Výrobny připojované k síti mimo přípojnic, do níž se vysílá signál HDO, smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5% za předpokladu, že bude dodržena minimální přípustná úroveň signálu HDO určená měřením. Tato úroveň musí být zaručena i při mimořádných zapojení sítí.

Nepřípustným změnám hladiny signálu HDO v přípojném bodu, je obecně zapotřebí zamezit odpovídajícími technickými opatřeními, zpravidla hradícími členy, jejichž parametry musí být odsouhlaseny PDS.

Při posuzování poklesů hladiny signálu HDO výrobny je zapotřebí uvažovat nad následujícími hledisky:

- zdroje připojené statickými střídači bez filtrů zpravidla nezpůsobují významné snížení hladiny signálu HDO. Pokud jsou vybaveny filtry nebo kompenzačními kondenzátory, pak je zapotřebí přezkoušet sériovou rezonanci s reaktancí nakrátko transformátoru výroby.
- zdroje, jejichž synchronní nebo asynchronní generátory jsou připojeny do sítě přes transformátor, vyvolávají tím nižší pokles signálu, čím je vyšší zkratová reaktance generátoru a transformátoru, čím je vyšší frekvence HDO a zkratový výkon sítě. [5]

Kromě omezení poklesu hladiny signálu HDO nesmí být též produkována nežádoucí rušivá napětí:

- výrobnou vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence odpovídá místně použité frekvenci HDO nebo leží v bezprostřední blízkosti, nesmí překročit 0,1% U_n .
- napětí produkovaná výrobnou, jejichž frekvence je do 100 Hz pod nebo nad místně použitou frekvenci HDO, nesmějí v přípojném bodu překročit hodnotu 0,3% U_n .

Výše uvedené hodnoty 0,1% U_n , respektive 0,3% U_n vycházejí z předpokladu, že v síti NN nejsou připojeny více než dvě vlastní výroby. Pokud vlastní výroba nepřipustně ovlivňuje provoz zařízení HDO, je zapotřebí, aby její provozovatel učinil opatření potřebná k odstranění ovlivnění.

Bez posouzení je možné připojit k síti výroby, nepřesáhne-li jejich výkon v přípojném bodu a výkon v celé síťové oblasti hodnoty uvedené v tabulce č. 1. [5]

Tab. 1: Hodnoty výkonu pro různé napěťové hladiny

Napěťová úroveň [kV]	Celkový výkon výrobních zařízení	
	V přípojném bodu	V síťové oblasti
0,4	10 kVA	20 kVA
VN	2 MVA	4 MVA
110	20 MVA	40 MVA

4.4 Proudby harmonických

Harmonické vznikají především u zařízení se střídači nebo měniči frekvence. Harmonické proudy emitované těmito zařízeními musí udat výrobce např. zprávou o typové zkoušce. [5]

4.4.1 Výroby v síti NN

Za předpokladu, že do sítě NN nemohou být připojeny více než dvě větší vlastní výroby s maximálním výkonem po 10% jmenovitého výkonu distribučního transformátoru, mohou být pro posouzení harmonických proudů (I_v) použita následující jednoduchá kritéria:

$$\text{Přípustný proud } I_{vnn} = \text{vztažný proud } i_v \frac{S_{kv}}{\sin \varphi} \quad (13)$$

Tento výpočetní postup nemůže být použit, pokud je společný napájecí bod v síti VN (např. větrná elektrárna). [5]

4.4.2 Výrobní v síti VN

Pro pouze jediné předávací místo v síti VN lze určit celkové v tomto bodě přípustné harmonické proudy ze vztažných proudů $i_{vpřl}$ násobených zkratovým výkonem ve společném napájecím bodu:

$$I_{v\check{r}} = i_{v\check{r}} \cdot S_{kV} \quad (14)$$

Pokud je ve společném napájecím bodu připojeno několik zařízení, pak se určí harmonické proudy přípustné pro jednotlivá zařízení násobením poměru zdánlivého výkonu zařízení S_A k celkovému připojitelnému nebo plánovanému výkonu S_{AV} ve společném napájecím bodu:

$$I_{v\check{r}} = i_{v\check{r}} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} = i_{v\check{r}} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (15)$$

U zařízení sestávajících z jednotek stejného typu lze za S_A dosadit $\sum S_{nE}$. To platí též pro větrné elektrárny. U zařízení z nestejných typů jde pouze o odhad.

Pro sčítání proudů harmonických, pocházejících jak od různých odběratelů, tak i výroben platí následující pravidla [5]:

- Usměrnovače řízené sítí (6ti nebo 12ti pulzní)

Harmonické typické pro usměrnovače (řádu 5., 7., 11., 13., atd.) i pro netypické nízkých řádů ($v < 7$) se sčítají aritmeticky

$$I_v = \sum_{i=1}^n I_{vi} \quad (16)$$

Pro netypické harmonické vyšších řádů ($v > 7$) je celkový harmonický proud určitého řádu roven odmocnině ze součtu kvadrátů harmonických proudů tohoto řádu

$$I_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{vi}^2} \quad (17)$$

- Pulsně modulované střídače

Pro řád μ , který v zásadě není celočíselný, ale pro hodnoty $\mu > 11$ také obsahuje celočíselné hodnoty, je celkový proud roven odmocnině ze součtu kvadrátů pro jednotlivá zařízení

$$I_\mu = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{\mu i}^2} \quad (18)$$

Pokud se vyskytují u těchto střídačů netypické harmonické proudy řádu $\mu < 11$, pak se tyto sčítají aritmeticky. Jsou-li překročeny přípustné hodnoty harmonických proudů (nebo přípustné proudy mezipřímých), pak jsou zapotřebí podrobnější posouzení. Přitom je třeba mít na paměti, že hodnoty přípustných harmonických proudů jsou voleny tak, aby platily

i při vyšších frekvencích pro induktivní impedanci sítě, tj. např. pro čisté venkovní síť. V sítích s významným podílem kabelů je ale síťová impedance v mnoha případech nižší, takže mohou být přípustné vyšší proudy harmonických. Předpokladem je výpočet a posouzení napětí harmonických ve společném napájecím bodu při uvažování skutečné (frekvenčně závislé) impedance sítě ve společném napájecím bodu. Navíc k dosavadním požadavkům je zapotřebí dodržet podmínku, že v rozsahu frekvencí 2 kHz – 9 kHz nepřekročí ve společném napájecím bodu napětí 0,2%.

Je-li v síti několik předávacích míst, musí být při posuzování poměrů v jednom předávacím místě brána v úvahu též ostatní předávací místa. Podle toho jsou poměry v síti VN přípustné, pokud v každém společném napájecím bodu nepřekročí harmonické proudy emitované do sítě hodnotu:

$$I_{U_{pr}} = U_{pr} \cdot S_{KV} \cdot \frac{S_{AV}}{S_S} \quad (19)$$

kde S_{AV} je součet napájecích zdánlivých výkonů všech zařízení v daném společném bodě a S_S je celkový výkon, pro který je síť navržena. Pokud podle tohoto výpočtu dojde k překročení přípustných harmonických proudů, pak v zásadě připojení není možné, pokud podrobnější výpočet neprokáže, že přípustné hladiny harmonických napětí v síti nejsou překročeny. [5]

5 Současná legislativa – podmínky připojení, dotační programy

5.1 *Plánovací a připojovací předpisy pro distribuční soustavu*

Plánovací a připojovací předpisy pro DS stanovují technická a návrhová kritéria a procedury, které má PDS dodržovat při plánování výstavby, rozvoje a obnovy DS a připojování k DS. Tyto předpisy se dále vztahují na všechny uživatele DS a žadatele o připojení při plánování výstavby, rozvoje a obnovy jejich soustav, pokud mají vliv na DS.

Výstavba výrobní elektřiny o celkovém instalovaném elektrickém výkonu 1MW a více je možná pouze na základě udělené státní autorizace MPO, jejíž podmínky stanovuje EZ.

Požadavky žadatele mohou vyvolat úpravy DS. V některých případech mohou tyto požadavky vyvolat potřebu zesílení nebo rozšíření kapacity příslušného místa připojení mezi PS a DS. V takovém případě rozhodnou o požadavcích žadatele společně PDS a PPS.

Doba potřebná pro plánování a rozvoj DS a případných dalších požadavků na rozhraní DS a PS bude záviset na typu a rozsahu potřebných prací na zesílení anebo rozšíření soustavy, potřebě a schopnosti získat souhlasná vyjádření příslušných orgánů, právnických i fyzických osob a na míře složitosti takových prací při udržení uspokojivé úrovně spolehlivosti a kvality dodávky elektřiny DS.

Plánovací a připojovací předpisy pro DS stanovují pravidla pro poskytování informací či doporučení ze strany PDS uživatelům a žadatelům. Pro vyloučení nejasností se tím rozumí (nevyžaduje-li kontext jinak), že takové informace nebo doporučení poskytne PDS na požádání uživatele nebo žadatele (ať v průběhu vyřizování žádosti o připojení, nebo jindy).

Každé připojení žadatele je třeba posuzovat podle individuálních vlastností výrobní nebo odběru v rámci jednání mezi žadatelem a PDS. Žadatel musí v jednání s PDS stanovit požadovanou úroveň spolehlivosti a dalších parametrů kvality elektrické energie své výrobní nebo odběru.

Všeobecně platí, že čím větší úroveň kvality dodávky požaduje, tím větší budou náklady PDS, a v důsledku toho bude muset žadatel hradit kromě podílu na oprávněných nákladech PDS za standardní připojení i veškeré náklady spojené s připojením nestandardním. [6]

5.1.1 Rozsah plánovacích a připojovacích předpisů

Plánovací a připojovací předpisy pro DS stanovují požadavky na DS ve vlastnictví PDS a požadavky na připojení k těmto soustavám.

Uživatelé a žadatel, na které se vztahují plánovací a připojovací předpisy pro DS, jsou ty subjekty, které používají nebo mají v úmyslu požívat DS. Kromě PPS to jsou [6]:

- a) všichni výrobci elektrické energie, jejichž výrobní jsou připojeny do DS
- b) všichni další PDS, připojení k této DS
- c) obchodníci s elektrickou energií
- d) všichni zákazníci

5.1.2 Cíle plánovacích a připojovacích předpisů

Plánovací a připojovací předpisy pro DS mají tyto cíle:

- a) umožnit plánování, návrh a výstavbu DS tak, aby zařízení bylo bezpečné, jeho provozování spolehlivé a hospodárné,
- b) usnadnit používání DS vlastní společností i jinými uživateli a stanovit standardy a podmínky připojení žadatelů k DS,
- c) stanovit technické podmínky, které usnadní propojení mezi soustavami ve vstupních a výstupních místech připojení DS,
- d) určit výměru potřebných plánovacích údajů mezi DS a uživateli,
- e) poskytnout uživateli a žadateli informace dostačující k tomu, aby mohl zhodnotit možnosti připojení, plánovat a rozvíjet vlastní soustavu pro zajištění kompatibility s DS. [6]

5.2 Dotační programy

Vláda dne 9. listopadu 2011 schválila Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2012. Jedná se o tzv. program EFEKT. Program EFEKT je určen na podporu energetických úspor a využití obnovitelných zdrojů energie v České republice. Dotace jsou poskytovány především na informační a osvětovou činnost pro veřejnost v oblasti úspor energie. Program se zaměřuje nejen na finanční podporu energetických konzultačních středisek EKIS, která bezplatně poskytují veřejnosti informace o úsporách energie, ale dotační podpora je určena i pro pořádání vzdělávacích seminářů a konferencí a také pro vydávání publikací se zaměřením na úspory energie a využívání obnovitelných zdrojů energie. Státní podporu lze získat také na menší investiční akce v oblasti výroby a úspor energie. Tento program oproti některým jiným programům umožňuje financovat akce na území Prahy. Další specialitou programu EFEKT je, že podporu lze čerpat předem, nikoli zpětně po ukončení akce. MPO stanovilo rozpočet programu EFEKT na rok 2012 na 30 mil. Kč. [7]

5.2.1 Cíl programu EFEKT

Program EFEKT slouží Ministerstvu průmyslu a obchodu k ovlivnění úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie v ČR. Je zaměřen na osvětovou a informační činnost, investiční akce menšího rozsahu a na pilotní projekty. Je doplňkovým programem k energetickým programům podporovaným ze strukturálních fondů Evropské unie. Cílem programu je zvýšit úspory energie, přispět ke zvýšení konkurenceschopnosti a zlepšit podporu technického vzdělávání. [7]

5.2.2 Právní a věcný základ programu

1. Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie je vyhlášována Ministerstvem průmyslu a obchodu k naplňování Státní energetické koncepce schválené vládou České republiky v souladu s § 5 odst. 4. zákona č. 406/2000Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.
2. Program EFEKT je zaměřen na realizaci energeticky úsporných opatření v oblasti výroby a spotřeby energie, na vyšší využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie a na rozvoj kombinované výroby elektřiny, tepla a chladu. Pravidla programu jsou stanovena ve smyslu nařízení vlády č. 63/2002 Sb., o pravidlech pro poskytování dotací ze státního rozpočtu na podporu hospodárného nakládání s energií a využívání jejich obnovitelných a druhotných zdrojů v platném znění. **Rozpočet programu EFEKT pro rok 2012 je 30 mil. Kč.**
3. Podpora je poskytována v režimu de minimis dle nařízení Komise (ES) č. 1998/2006, o použití článků 87 a 88 Smlouvy na podporu de minimis. Dotace pro veřejný sektor, pokud podpořená akce nesouvisí s ekonomickou činností subjektu, nezakládá veřejnou podporu.
4. Na způsobilé výdaje projektu lze zároveň poskytnout jinou veřejnou podporu, např. dle regionální blokové výjimky na základě nařízení Komise (ES) č. 800/2008, o blokových výjimkách, v souladu s články 87 a 88 Smlouvy o ES, a to pouze do „Maximální výše intenzity podpory dle Mapy regionální podpory ČR“. [7]

5.2.3 Účel podpory

Program EFEKT podporuje realizaci opatření k hospodárnému užití energie a snížení zátěže životního prostředí se zaměřením na co nejvyšší efektivitu vynaložených prostředků státního rozpočtu k rozšíření využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie, na jejich vývoj, výzkum, pilotní projekty, mezinárodní projekty a na poradenství, osvětu a propagaci. Program EFEKT vytváří postupné podmínky pro naplnění zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů (v platném znění), a cíle stanoveného EU dosáhnout 13% podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie v České republice v daném roce.

Poskytnutí a čerpání dotace je podmíněno dodržením ustanovení zákona č. 218/2000 Sb., o rozpočtovacích pravidlech (v platném znění), zákona č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách (v platném znění), a zákona č. 215/2004 Sb., o úpravě některých vztahů v oblasti veřejné podpory a o změně zákona o podpoře výzkumu a vývoje (v platném znění), a Hlavy VI, Čl. 87 a 88 Smlouvy o založení ES č. 1998/2006. [7]

5.2.4 Podmínky poskytnutí dotace

1. Dotace může být poskytnuta podnikatelským subjektům (právníckým i fyzickým osobám), neziskovým organizacím, vysokým školám zřízeným podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách (v platném znění), městským částem, obcím (také jejich sdružením) a krajům a jimi zřízeným organizacím, sociálním a zdravotnickým zařízením, zájmovým sdružením, bytovým družstvům, společenstvím vlastníků bytových jednotek, výzkumným organizacím, veřejnoprávními organizacím, sdružením právnických osob, komorám. Přípustný typ žadatele je specifikován u jednotlivých podporovaných aktivit. Žadatel o dotaci musí vykonávat činnost na území ČR.
2. Žadatel o dotaci musí mít k datu podání žádosti vypořádány všechny závazky vůči státnímu rozpočtu a státním fondům republiky, včetně bezdlužnosti vůči zdravotním pojišťovnám.
3. Poskytnuté státní prostředky (dotace) musí být čerpány v daném rozpočtovém roce, ve smyslu zákona č. 218/2000 Sb., o rozpojovacích pravidlech (v platném znění). Nevyčerpaná dotace musí být vrácena do státního rozpočtu nejpozději do 15. 11. aktuálního roku, ve specifických případech do 15. února následujícího roku.
4. Veškerá dokumentace, vztahující se k podpořeným řešením, požitě materiály a provedení stavebních a montážních prací musí odpovídat platným předpisům ČR a platným ČSN.
5. Do podpory z Programu EFEKT nelze zahrnout náklady, které byly zahrnuty do nákladů pro podporu z jiných veřejných zdrojů.
6. Započítat lze náklady vzniklé po 1. 1. 2012 s výjimkou nákladů na projektové práce a zpracování energetického auditu, které se mohou započítat, pokud datum jejich zdanitelného plnění nastalo po 1. 1. 2011.
7. Žadatel, který je plátcem DPH, nesmí náklady na DPH zahrnout do nákladů hrazených z dotace a v žádosti o dotaci uvádí **kalkulaci celkových nákladů bez DPH**.
8. Na dotaci není právní nárok. [7]

6 Technické podmínky pro připojení v dané lokalitě

6.1 Technické parametry pro danou lokalitu

Fotovoltaická elektrárna s instalovaným výkonem 0,6 MW Horní Moštěnice bude sloužit pro přímou výrobu elektrické energie z energie sluneční. Tato energie bude dodávána do distribuční sítě ČEZ Distribuce, a.s. Dané podmínky pro připojení nové výrobní elektrické energie jsou přesně stanoveny v dokumentu Pravidel provozování distribučních soustav (dále jen PPDS). Cílem tohoto dokumentu je zveřejnit předpisy, které stanoví minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky pro připojení uživatelů k distribuční soustavě a pro její užívání. PPDS vycházejí ze zákona č. 458/2000 Sb. – o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů, a z navazujících vyhlášek Ministerstva průmyslu a obchodu ČR a Energetického regulačního úřadu, specifikujících provádění některých ustanovení energetického zákona v elektroenergetice, zejména pak Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, Vyhláška o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Vyhláška o dispečerském řízení elektrizační soustavy a o předávání údajů pro dispečerské řízení, Vyhláška stavu nouze v elektroenergetice a o obsahových náležitostech havarijního plánu, Vyhláška o měření elektřiny a o způsobu náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny, Vyhláška, kterou stanoví pravidla pro organizování trhu s elektřinou a zásady tvorby cen za činnosti operátora trhu, které se na PPDS odvolávají a ukládají jim podrobně specifikovat určené požadavky. [6]

Umístění FVE je na pozemku p.č. 412/5 v katastrálním území Horní Moštěnice o celkové výměře 13 844 m². Stavba se nachází severozápadním směrem od obce Horní Moštěnice, okres Přerov, a to ve vzdálenosti cca 400 m od obce. Parcela je situována vedle silnice E55 Přerov – Hulín.

Kapacita výrobní je dána především velikostí plochy, která je k dispozici. Na dané ploše bude instalováno 3169 ks polykrystalických křemíkových fotovoltaických panelů.

Vlastní připojení na vedení 22kV je přes úsekový vypínač a transformátor 630kVA (0,4/22kV). Na přívodu vysokého napětí VN je rozpadové místo vybavené vypínačem VN, proudovými a frekvenčními ochranami. Trafostanice bude umístěna zprava severní strany pozemku (viz Příloha B).

6.2 Připojení vlastní výrobní – strana NN

6.2.1 Technické parametry

1. Proudová soustava:

Strana 24V (AC/DC) – 24V AC/DC – izolovaná soustava, obvody SELV

Střídavá strana 400V (AC) – 3 PEN AC 50Hz, 230/400V, TN-C

3 NPE AC 50Hz, 230/400V, TN-C-S

Stejnoseměrná strana 700V (DC) – 2DC 700V/IT

2) Ochrana před úrazem elektrickým proudem dle ČSN 33 2000-4-41 ed.2 (viz Příloha A):

- Ochrana před nebezpečným dotykem živých částí na straně DC dle ČSN EN 61 140 ed.2 a ČSN 33 2000-4-41 ed.2, ochrana živých částí izolací, krytím a zábranami.
- Ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí do 1000V na straně DC dle ČSN EN 61 140 ed.2, ČSN 33 2000-4-41 ed.2 a ČSN 33 2000-7-712. Jelikož poměr mezi jmenovitým proudem FV panelu Evergreen ES-A-205 (11,27A) a proudem zkratovým (11,93A) je velmi malý, $11,93/11,27 = 1,06$ násobek, (pro Evergreen ES-A-210 je násobek 1,05) není možné použít ochranu spočívající v automatickém odpojení vadné části přetavením nebo vypnutím ochranného prvku při poruše (pro tuto ochranu je potřeba mít vyšší zkratový proud). Není tedy možno dosáhnout automatického odpojení od zdroje napájení v požadovaném čase dle ČSN 33 2000-4-41 ed.2, a bude zajištěna ochrana doplňujícím pospojováním dle ČSN 33 2000-4-41 ed.2 čl.411.3.2.6. Provedení pospojování dle čl. 415 této normy.
- Ochrana před nebezpečným dotykem živých částí do 1000V na straně AC dle ČSN EN 61 140 ed.2 a ČSN 33 2000-4-41 ed.2, za střídači bude základní ochrana provedena izolací a krytím.
- Ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí do 1000V na straně AC dle ČSN 33 2000-4-41 ed.2, ochrana automatickým odpojením od zdroje a ochranné pospojování.

3) Energetická bilance:

Instalovaný výkon:

Strana DC – $P_{jm} = 657,54 \text{ kWp}$

Strana AC – výstup ze střídačů – $P_{jm} = 600 \text{ kW}$

4) Způsob měření:

Pro měření výroby elektrické energie je použito nepřímé měření na straně NN typu B, provedení odběr – dodávka. Měřicí transformátory jsou s převodem 1000/5A, tř. př. 0,5S, 10VA. Měření je umístěno vedle vstupních dveří do rozvodny NN ve skříni USM. USM musí být přístupná pracovníkům ČEZ.

3) Zpětné vlivy na napájecí síť:

- a) **Flikr** – u fotovoltaického zařízení připojeného přes střídače se nepředpokládá výraznější příspěvek k úrovni flikru
- b) **Útlum HDO** – dané fotovoltaické zařízení připojené přes střídače SMA, typ SMC 10000TLPR nemá vliv na útlum HDO.
- c) **Proudy harmonických** – Použitý typ střídačů splňuje požadavky ČSN EN 61 000-3-12 – Meze harmonických proudů. Dále je použit transformátor s převodem D/y, což znamená, že se

případné liché násobky třetí harmonické neuplatní. Před uvedením do provozu musí být provedeno kontrolní měření kvality elektřiny, které ověří harmonické zakreslení napětí v předacím místě. Pro harmonické řady přesahující povolené meze bude zapotřebí snížení velikosti harmonických proudů přídatnou filtrací

4) Ochrana proti přepětí:

Jedním z požadavků pro zajištění funkce vnitřní ochrany před přepětím je instalace systému přepětových ochran.

Pro ochranu DC strany střídačů jsou použity přepětové ochrany FLP-1000 PH V/3 (SALTEK), které jsou umístěny v plastových rozvaděčích RDCx-xx (krytí IP66) vedle střídačů.

V plastových rozvaděčích RACx-xx (krytí IP66) jsou použity přepětové ochrany SALTEK:

- pro ochranu AC strany střídačů jsou použity svodiče bleskových proudů (typ 1 a typ 2) FLP 12,5V/4.
- pro ochranu datové části střídačů budou použity svodiče bleskových proudů BDM 06.

V hlavním rozvaděči RH jsou použity přepětové ochrany SALTEK: FLP-B+C MAXI/3 a FLP-12,5V/4.

V rozvaděči pro vlastní spotřebu výroby RMS je použita přepětová ochrana SALTEK: SLP – 275V/4 .

6.2.2 *Technické řešení*

1) Trafostanice – NN část (viz Příloha C):

- a) **Rozváděč RH** – jedná se o skříňový rozvaděč, vybavený pojistkovými odpínači pro měřicí a ovládací obvody RH, sítíovou ochranou NPU, napájecí rozvaděče RMS a pojistkovými odpínači pro jednotlivé RAC rozvaděče fotovoltaické elektrárny. Nastavení ochrany musí být plombovatelné.
- b) **Rozvaděč vlastní spotřeby RMS** – rozvaděč vlastní spotřeby je vybaven jističi pro obvody vlastní spotřeby (osvětlení zásuvky, topení, VZT) a napájení SLP rozvaděče. RMS je plastová nástěnná rozvodnice pro 54 modulů.
- c) **Rozvaděč GU** – skříňový rozvaděč (vxšxh) cca 2000x600x600mm slouží k zajištění zálohovaného stejnosměrného napětí 24V (ochrany, pohon jističe QF01, signalizace, napájení AXY a RMaR). Kapacita baterií $C_{10} = 100\text{Ah}$.
- d) **Skříň AXY** – oceloplechový rozvaděč (vxšxh) 600x450x250mm slouží k řízení a monitorování FVE z dispečinku ČEZ Distribuce. Součástí dodávky investora je skříň, svorkovnice a kabeláž od jednotlivých prvků trafostanice, kterých se monitoring a řízení týká. Dále napájení rozvaděče 24V a zásuvky 230V. Ve stanovisku ČEZ Distribuce, a.s. není

požadavek na regulaci činného a jalového výkonu. Signalizace z těchto regulací není „zatím“ připojena.

- e) **Rozvaděč USM** - oceloplechový rozvaděč (vxšxh) 800x400x300mm slouží k instalaci elektroměru a modemu pro obchodní měření na straně NN typu B, provedení odběr – dodávka. Jsou použity měřicí transformátory proudu s převodem 1000/5A, tř.př. 0,5s, 10VA. Skříň USM je umístěna vedle vstupních dveří do rozvodny NN. Ve skříni je umístěn pojistkový odpínač napětového obvodu.
- f) **Ochrana** – přestože jednotlivé střídače samy hlídají parametry napájecí sítě a samy sebe v případě potřeby odpojí, je podle požadavku provozovatele distribuční soustavy před napojením FVE na distribuční síť v hlavním rozvaděči RH umístěna síťová ochrana MainsPro, zajišťující ochranu sítě před zpětnými vlivy zdrojů energie.

Síťová ochrana MainsPro v sobě sdružuje tyto ochranné prvky:

- nadfrekvenční a podfrekvenční ochranu
- přepětovou a podpětovou ochranu
- hlídání sledu fází
- ochranu proti napětové symetrii

Požadavky na kvalitu vyrobené elektrické energie jsou uvedeny, viz tabulka č.2.

Tab. 2: Požadavky na kvalitu vyrobené elektrické energie

Parametr	Max. nastavení pro vypnutí	Max. vypínací čas
Podpětí 1. stupeň $U <$	0,9 U_n	$t = 5s$
Podpětí 2. stupeň $U <<$	0,85 U_n	$t = 6s$
Přepětí 1. stupeň $U >$	1,1 U_n	$t = 0,1s$
Podfrekvence 1.stupeň $f <$	49,5 Hz	$t = 0,1s$
Nadfrekvence 2. stupeň $f >$	51,0 Hz	$t = 0,1s$

- g) **Fázovací místo** – fázovacím místem budou jednotlivé střídače INVxx.y fotovoltaické elektrárny.

2) Fotovoltaické pole (viz Příloha D):

Jako zdroj je instalováno 3169 ks polykrystalických křemíkových fotovoltaických panelů Evergreensolar ES-A-205-fa3 o výkonu 205Wp, nominální napětí 18,2V, nominální proud 11,27A a Evergreensolar ES-A-210-fa3 o výkonu 210Wp, nominální napětí 18,3V, nominální proud 11,48A.

Panely o rozměrech 1650x951x46mm jsou zapojeny do sérií (stringů) po 27, resp. 26 a 25 ks FV panelů. Stringy obsahují panely ze stejné řady. Dva stringy jsou připojeny na jeden střídač SMA, typ SMC 10000TL přes rozvaděč RDC. V RDC jsou tyto dva stringy sdruženy a do střídače je veden jeden pár solárního kabelu o průřezu 6mm². Odvody od panelů k RDC jsou provedeny solárními

vodiči o průřezu 6mm². Z jednofázových střídačů je výkon vyveden kabelem typu CYKY-J 3x16mm² do rozvaděče RAC. Fotovoltaické pole (FLP) je tvořeno stacionárními FV- panely na nosné konstrukci. Řady FV – panelů jsou orientovány na jih, se sklonem 20°.

Velikost napětí na DC větvích (stringu) při provozu závisí zejména na intenzitě dopadajícího slunečního záření, teplotě VV panelu a také na počtu FV panelů ve stringu zapojených do série.

AC výstup jednotlivých střídačů je jistěn v rozvaděči RAC a propojen do společného třífázového systému.

Parametry jednoho stringu jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tab. 3: Parametry stringů

String č.	Počet FV panelů ve stringu	Výkon stringu (Wp)	Jmenovité napětí U (V)	Napětí U (V) naprázdno	Jmenovitý proud I (A)
X	27 (x 205Wp)	5535	491,4	612,9	11,27
X	26 (x 210Wp)	5460	475,8	592,8	11,48
X	25 (x 210Wp)	5250	457,5	750	11,48

3) Rozvaděče RDC (viz Příloha E):

V jednotlivých fotovoltaických polích jsou osazeny rozvaděče RDC, které jsou tvořeny plastovou závěsnou rozvodnicí GEMINI, velikost 2 o rozměrech 460x550x260mm a minimálním krytím IP66. Tato rozvodnice je vybavena pojistkovými odpínači a přepětovými ochranami SALTEK pro ochranu střídačů na straně DC. Rozvaděče RDC jsou uchyceny na ocelové konstrukci pro uchycení FV panelů.

4) Rozvaděče RAC (viz Příloha F):

V jednotlivých fotovoltaických polích budou osazeny rozvaděče RAC. Jsou tvořeny plastovou závěsnou rozvodnicí GEMINI o velikosti 460x550x260mm s minimálním krytím IP66. Rozvaděč je rozdělen na dvě části. Na část AC, kde jsou připojeny jednotlivé jednofázové střídače, AC jistění střídačů a ochrana proti přepětí strany AC. Vývod z rozvaděče je realizován kabelem typu 1-AYKY 3x120mm², který vede v zemi do hlavního rozvaděče NN (RH v trafostanici TS). Rozvaděče RAC jsou uchyceny na ocelové konstrukci pro uchycení FV panelů.

5) Střídače napětí (viz Příloha C):

Pro přeměnu stejnosměrného proudu na proud střídavý jsou použity střídače SMA, typ SMC 10000TL, jmenovitý vstupní výkon DC10350Wp, max. vstupní napětí 700V, výstupní napětí 1x 230V, 50Hz AC, jmenovitý výstupní výkon 10kW. Tyto střídače přijmou dodávku vyrobené solární elektřiny v automatickém režimu nafázování na síť 3x400V, 50Hz. Je použito celkem 60ks střídačů SMC 10000TL.

Bezpečné odpojení na DC straně střídače zajistí elektronické mechanické vypínače ESS, které jsou součástí dodávky střídače. Střídače jsou vybaveny bezpečnostní ochranou podpětíovou, napětíovou, podfrekvenční a nefrekvenční, které automaticky odpojí solární generátor (střídač) od sítě při překročení nastavených parametrů sítě. Jejich software je upraven a nastaven dle podmínek použití v sítích ČR. FV panely jsou připojeny ke střídačům (přes rozvaděče RDC) solárními kabely (+a-) o průřezu 6mm² a strana AC ze střídače je připojena kabelem CYKY-J 3x16mm² do rozvaděčů RAC.

Střídač neboli Invertor je specifikován s rozhraním RS485 pro připojení datové komunikace a je také osazen obvody pro připojení zařízení Power balancer, které umožňuje hlídání symetrie 3-fázového systému. Power balancer je nastaven na režim FaultGuard. Pokud jeden ze střídačů Sunny Mini Central signalizuje chybu síťového napětí a přestane dodávat proud, odpojí se ihned od sítě a stejně tak i ostatní dva střídače. Toto nastavení je zvoleno za účelem zamezení nesouměrného zatížení mezi dvěma fázemi, které je větší než 5kVA.

6) Kabelové trasy NN (viz Příloha G):

FV panely jsou navzájem ve skupinách tzv. stringů po 27, resp. 26 a 25 ks propojeny kabely do série. Z krajních kabelů + a – jsou kabely vyvedeny do rozvaděče RDC. Tyto kabely typu ÖFLEX SOLAR XLS o průřezu 6mm² jsou upevněny k nosnému hliníkovému C – profilu pod FV panely. Mezi jednotlivými řadami jsou tyto kabely uloženy ve výkopu v trubkách typu KOPOFLEX KF09050.

Mezi rozvaděči RAC a RDC jsou umístěny 3ks invertorů. Mezi rozvaděčem RAC a střídači jsou kabely typu CYKY-J 3x16mm² vedeny v drátěném žlabu Merkur 100/50. Z RAC rozvaděče vede kabel 1-AYKY 3x120+70mm² ve výkopu do rozvaděče RH v trafostanici TS. Přejít z výkopu do RAC je chráněn tuhou trubkou. Kabely AYKY jsou v rozvaděči RH ukončeny na pojistkových odpínačích s pojistkami 80A. Datové kabely Li2YCYv 2x2x0,5 jsou uloženy ve výkopu se vzdáleností cca 30cm od kabelů NN.

Kabely jsou uloženy do pískových loží ve volném terénu v hloubce 800mm a jsou označeny výstražnou fólií umístěnou 300mm pod definitivním terénem.

7) Provedení uzemnění a pospojování (viz Příloha H):

Uzemnění je provedeno v souladu zejména s ČSN 33 2000-4-41 ed.2, ČSN 2000-5-54.

V souběhu s kabely NN je uložen zemnicí pásek FeZn 30/4mm. V místě sestavy střídačů a rozvaděčů (v každém fotovoltaickém poli) je provedeno odbočení z hlavní trasy přes dvě svorky SR3bE zemnicím vodičem FeZn ø 10mm. Spoje v zemi jsou izolované proti vlhkosti a korozi horkým asfaltem. Na konstrukci panelů je zemnicí vodič FeZn 10mm² připojen do HOP nebo pomocí svorky. Rozvaděče RAC a RDC jsou uzemněny do HOP vodičem CYA 25mm². Ocelové konstrukce panelů jsou dále uzemněny přes závrtné vruty délky 1,8m (v zemi 1,6m), ke kterým jsou nosné konstrukce uchyceny do země.

Na společný uzemňovací vodič jsou také připojeny všechny kovové hmoty a konstrukce FV panelů a přípojnice PE a PEN v rozvodných skříních. Všechny kovové konstrukce jsou vzájemně

vodivě propojeny. Sousední stoly (v jedné řadě) jsou propojeny zemnicí propojkou (CYA25mm² a kabelovými oky) na spodní a horní vaznici.

Všechna elektrická zařízení třídy I jsou připojeny buďto přímo pomocí konstrukce (FV panely), nebo pomocí vodičů CYA 25mm², resp. CYA 16mm² (RDC, RAC, inventory).

6.3 Připojení vlastní výroby – strana VN

6.3.1 Technické parametry

1) Trafostanice TS 22/0,4kV, 630kVA (viz Příloha CH):

Technické parametry samotné kioskové pochozí trafostanice jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tab. 4: Technické parametry nové DTS

Název a číslo trafostanice	KIOSKOVÁ POCHOZÍ TRAFOSTANICE ARMES W300/500
Číslo napájecího vedení VN	VN 3x22 zemní kabelové VN č.56
Transformátor	22/0,4kV, 50Hz, Dyn1, 630kVA SGB DOTUL 630H/20
Napět'ová soustava VN	3 AC, 22kV, 50Hz, IT
Napět'ová soustava NN	3 PEN AC 400/230V, 50Hz TN-C
Námrazová oblast	N0
Větrová oblast	Oblast I, kategorie terénu II.
Stupeň znečištění	AF1 dle ČSN 33 2000-3
Úroveň spolehlivosti	1 (50let)
Únosnost zeminy	0,15 - 0,25 MPa
Prostory - úraz el.proudem	nebezpečné
Prostory	VI - venkovní dle PNE 33 0000-2
Vnější vlivy	Stanovuje PNE 33 2000-2
Krytí	DTS jako celek má krytí IP33D dle ČSN EN 61 330,
Provozovatel	Signalbau, a.s.
Ochrana proti neb.dotyku VN	
- neživých částí	Uzemněním v soustavách s nepřímo uzemněným uzlem - soustava IT dle PNE 33 0000-1, čl.3.4.3.1
- živých částí	Polohou dle PNE 33 0000-1 čl.3.2.2.1 a izolací dle PNE 33 0000-1, čl.3.2.2.4
Ochrana proti neb.dotyku NN	
- neživých částí	Samočinným odpojením od zdroje dle PNE 33 0000-1, čl.3.3.3, polohou - v nově budovaných částech sítě NN dle PNE 33 0000-1, čl.3.3.2.1 a izolací - v nově bovaných částech sítě NN dle PNE 33 0000-1, čl.3.3.2.3
- živých částí	Polohou dle PNE 33 0000-1 čl.3.2.2.1 a izolací dle PNE 33 0000-1, čl.3.2.2.4
Ochrana před přepětím	
- na straně VN	RICS-5143+POLT-24D/1XI s omezovačem RDA-24
- na straně NN	SP 0,44/10kA

Jištění	
- na straně VN	Sada jednopólových výkonových pojistek typu PM 45 22/25kV, 31,5A
- na straně NN	Pojistkový odpínač LTS/LG
Uzemnění	Dle PNE 33 0000-1, pásek FeZn 30x4
Propojovací vedení rozváděče VN - transformátor	22 - CXEKXCY 1x35/16
Propojovací vedení transformátor - rozváděče NN	2x3xCHBU 185 černý + 2xCHBU 185 zž
Rozváděč VN	Siemens 8DJH - R, T standart výška 1400mm
Rozváděč NN	Rámový In 1000A, parametry dle PNE 35 7149 a katalogové listy
Způsob měření spotřeby el.energie	Spotřeba energie je měřená fakturačním nepřímým měřením dodavatele el. energie, na straně NN, v USM-SM1,

2) Kabelové vedení VN 22kV (viz Příloha CH):

Technické parametry pro kabelové vedení VN 22kV jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tab. 5: Technické parametry pro kabelové vedení VN 22kV

Název vedení	VN 3x22 kV VN č.56
Provozovatel	Signalbau, a.s.
Napětíová soustava	3x 22kV, 50Hz dle ČSN IEC 38
Proudová soustava	AC, 50Hz/IT dle PNE 33 0000-1
Druh vedení	Zemní
Typ vedení	Kabel uložen v zemi dle ČSN 33 2000-5-52 a ČSN 73 6005
Bezpečnost vedení	Základní, uložením do ochranné roury PVC DN 160
Počet, průřez a druh kabelu	3x 22kV AXEKVCE 1x120 v délce 850m vedené z DTS PR_3455 (RM6 NE IIQI) - majetek ČEZ Distribuce do DTS Signalbau (Siemens, R, T)
Uspořádání vodičů	Svazkováním do trojúhelníkové formace
Prostory - úraz el.proudem	Nebezpečné
Prostory	VI - venkovní dle PNE 33 0000-2
Vnější vlivy	Stanovuje PNE 33 2000-2
Ochrana proti neb.dotyku VN	
- neživých částí	Uzemněním v soustavách s nepřímo uzemněným uzlem - soustava IT dle PNE 33 0000-1, čl.3.4.3.1
- živých částí	Polohou dle PNE 33 0000-1 čl.3.2.2.1 a izolací dle PNE 33 0000-1, čl.3.2.2.4
Ochrana proti přepětí	Svodiče přepětí ze strany od přívodu pole
Zkratové poměry sítě	Sks = 210MVA, Iczb = 38A, tk = 1,4s

6.3.2 Technické řešení

1) Trafostanice TS 22/0,4kV, 630kVA (viz Příloha D):

Kiosková pochozí transformovna ARMES situována na p.č. 412/5 v.ú.: Horní Moštěnice je jako typově zkoušené zařízení obsahující transformátor, spínací zařízení nízkého a vysokého napětí, spojovací vedení a řídicí pomocné obvody umístěná v krytu třídy 20. Tato transformovna je umístěna v místech přístupných veřejnosti a podle předepsaných provozních podmínek je bezpečná pro osoby. Transformační stanice má půdorys 3x5m a je situována tak, že transformátor je umístěn na severní stranu rovnoběžně s komunikací na p.č. 1317/1.

2) Uzemnění:

Uvnitř stanice je zřízen obvodový ochranný vodič FeZn 120mm² na který je připojena armatura buňky stanice a neživé vodivé části rozvodného zařízení a buňky. Připojení na vnější uzemňovací soustavu je provedeno přes 2 protilehlé zemnicí průchodky vybavené svorníkem ve dvou bodech přes zkušební svorky – SZ1, SZ2. Venkovní uzemnění pro technologii TS je realizováno páskem FeZn 30x4. Z tohoto pásku je vytvořena uzemňovací soustava okolo buňky TS (ekvipotenciální kruh dle ČSN 33 2000-5-54 ed.2). Spoje jsou řešeny pomocí uzemňovacích svorek chráněné proti korozi asfaltovým nátěrem.

Výsledný odpor uzemnění:

Rezistivita půdy ρ	100Ωm
Dovolené dotykové napětí U_{TP}	75V
Kapacitní proud zemního spojení v síti I_E	38A

$$R_E \leq \frac{k \cdot U_{TP}}{I_E} = \frac{5 \cdot 75}{38} \approx 9,87\Omega \quad (20)$$

k...je součinitel uzemnění dle tvaru zemniče. V zařízeních, kde může vzniknout nebezpečné závlačné napětí, se k volí 1. Pro dva ekvipotenciální kruhy volíme k = 5.

Odpor uzemnění pracovního středu (uzlu) zdroje nebo pracovně uzemněného místa zdroje musí vyhovovat podmínce:

$$R_A \leq 15\Omega \quad (21)$$

Nelze-li tuto hodnotu ve ztížených podmínkách dosáhnout obvyklými prostředky, dovoluje se odpor uzemnění nejvýše 15Ω.

Vypočtený odpor uzemnění $R_z = \rho/l = 100/32 = 2,857\Omega \rightarrow$ vyhovuje podmínce R_A při celkové délce $l = 35m$.

Celkový odpor uzemnění R_B vodičů PEN odcházejících vedení NN z transformovny včetně uzemněného středu (uzlu) zdroje, nesmí však být pro sítě o jmenovitém napětí $U_0 = 230V$ větší než 2Ω .

Společné uzemnění pro elektrická zařízení VN a NN v distribuční stanici se musí kontrolovat podle vztahu:

$$R_B \leq \frac{U_{TP}}{I_E} = \frac{75}{38} \approx 1,97\Omega \quad (22)$$

3) Kabelové vedení VN 22kV, propojení jednotlivých trafostanic (viz Příloha CH):

Nově vybudovaná trafostanice je připojena VN kabelem typu 3x 22-AXEKVCE 1x120mm² v délce trasy cca 850m, který je veden v zemi v hloubce uložení 1,2m až do distribuční trafostanice s označením DTS_PR_3455 ČEZ Distribuce, a.s., kde bude napojen z volného pole rozváděče RM6-NE IIQI. Kabely VN jsou v celé trase uloženy v chráničkách typu KORUFLEX DN160.

7 Ekonomické zhodnocení investice s výhledem na životnost FVE

Investiční náklady na danou fotovoltaickou elektrárnu pod názvem **SB fotoenergie CZ s.r.o.** jsou 49,5 mil. Kč, přičemž součástí celkových investičních nákladů jsou i náklady na nákup pozemku ve výši 207 tis. Kč. Celkové ekonomické zhodnocení je počítáno s výhledem na dobu životnosti FVE 20 let.

7.1 Investiční náklady

Solární panely	31 569 964 Kč
Střídače (měniče), vč. montáže	5 490 460 Kč
Část nízkého napětí	2 780 000 Kč
Část vysokého napětí	1 800 000 Kč
Konstrukce pro panely	3 938 000 Kč
Transformátor + trafostanice	1 000 000 Kč
Oplocení pozemku a jeho zabezpečení	1 200 000 Kč
Pozemek	207 660 Kč
Ostraha a pojištění staveniště	300 000 Kč
Inženýrská činnost	1 170 000 Kč
Celkem	49 456 084 Kč

Solární panely byly vybrány od společnosti Evergreen Solar, typ ES-A-205fa3 o výkonu 205Wp (-0/+5Wp).

Měniče jsou necentrální od společnosti SMA, typ Sunny Mini Central 10 000-T1 s EU účinností 97,5%.

Oplocení pozemku je plotem do výšky 2m, zabezpečení otřesovým perimetrem, pohybovým detektorem, venkovní sirénou a osvětlením halogenovými svítilny s celkovým napojením FVE na pult centralizované ochrany bezpečnostní agentury.

Připojení do distribuční sítě je ve vzdálenosti 850m. Klíčové části vysoko i nízko napěťové části výroby je od společnosti Schneider Electric.

7.2 Provozní náklady

Provozní náklady tvoří následující položky:

1. Náklady na elektrickou energii pro noční napájení měničů.
2. Náklady na údržbu pozemku, čištění panelů (od prachu a sněhu) a náklady spojené s údržbou plotu a zabezpečovacích zařízení.
3. Náklady na pojištění provozu FVE:
 - pojištění proti vandalizmu
 - pojištění proti krádežím
 - pojištění proti živelným pohromám
 - pojištění proti výpadkům technologie
4. Náklady na zabezpečení a ostrahu elektrárny prostřednictvím bezpečnostní agentury.
5. Náklady spojené se servisním zajištěním provozu elektrárny.
6. Náklady spojené s tvorbou rezerv.

Ve finančním modelu jsou provozní náklady vyjádřeny celkovým % z pořizovacích nákladů FVE, a to ve výši 1%.

7.3 Očekávané výnosy

S ohledem na charakter výroby, výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů, je výše výnosu závislá na množství vygenerované elektrické energie. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2009 ze dne 23. 11. 2009 pro fotovoltaické zdroje spuštěné v průběhu roku 2010 s instalovaným výkonem nad 30kW, včetně, stanovilo výkupní cenu elektrické energie ve výši 12,15Kč/kWh.

Výkupní cena elektrické energie je garantována dle vyhlášky č. 150/2007 Sb. uplatňované po dobu životnosti výroben elektřiny, přičemž předpokládané doby životnosti pro jednotlivé kategorie obnovitelných zdrojů jsou uvedeny v příloze č.3, Vyhlášky č.475/2005 Sb. v platném znění. Pro fotovoltaické zdroje je garance výkupních cen po dobu 20 let.

Po dobu životnosti výroby elektrické energie se výkupní ceny meziročně zvyšují o index cen průmyslových výrobců, a to minimálně o 2% a maximálně o 4%.

S ohledem na použití technologie solárních článků dochází ke snižování účinnosti těchto panelů o 1% ročně, garantovaná výrobcem panelů.

Na základě výše uvedené ceny, navyšování o index průmyslových cen, zohlednění poklesu účinnosti panelů a předpokládané výroby el. energie jsou následující výnosy uvedeny v tabulce č. 5.

Tab. 6: Přehled ročních výnosů a tržeb za dobu životnosti FVE

Rok	Výkupní cena [Kč/kWh]	Roční výroba [kWh]	Tržba za prodej [Kč]
2010	12,15		0
2011	12,39	605 000	7 497 765
2012	12,64	598 950	7 571 243
2013	12,89	592 900	7 644 661
2014	13,15	586 850	7 717 988
2015	13,41	580 800	7 791 189
2016	13,68	574 750	7 864 231
2017	13,96	568 700	7 937 079
2018	14,24	562 650	8 009 695
2019	14,52	556 600	8 082 041
2020	14,81	550 550	8 154 076
2021	15,11	544 500	8 225 760
2022	15,41	538 450	8 297 050
2023	15,72	532 400	8 367 901
2024	16,03	526 350	8 438 268
2025	16,35	520 300	8 508 102
2026	16,68	514 250	8 577 354
2027	17,01	508 200	8 645 973
2028	17,35	502 150	8 713 905
2029	17,70	496 100	8 781 097
2030	18,05	490 050	8 847 491
Celkem		10 950 500	163 672 869

7.4 Ekonomické zhodnocení investice

Pro výpočet ekonomického zhodnocení investice bylo použito následujících parametrů:

Celková výše investice v Kč	49 459 084
- z toho neodepisované investice v Kč	207 660
- z toho investice s odpisy 10 let v Kč	43 760 723
- z toho investice s odpisy 20 let v Kč	5 488 001
Vlastní zdroje - 20%	9 891 217
Úvěr z banky – 80%	39 564 867
Úrok z úvěru p.a. v %	7,00%
Doba úvěru v letech	15
Počet splátek za rok	4
Sazba daně z příjmu právnických osob	19,00%

Roční výroba v kWh dle PVGIS	605 000
Roční provozní náklady v % z pořizovací ceny	1,00%
Meziroční růst provozních nákladů v %	4,00%
Meziroční růst výkupních cen v %	2,00%
Roční pokles účinnosti panelů v %	1,00%
Reinvestice v % z tržeb za roční výrobu	4,00%
Diskont v %	7,00%

Z výše uvedených parametrů jsem provedl jednotlivé výpočty pro různá období v rozmezí 20 let. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Při ekonomickém zhodnocení celkově vynaložené investice na fotovoltaickou elektrárnu a její návratnosti je třeba zohlednit a připočíst i další parametry, které podstatně ovlivní dobu návratnosti vynaložené investice a celkový zisk po zdanění.

Jsou to především: provozní náklady, reinvestice, splátky jistiny úvěru, úroky z úvěru, daň z příjmu, cashflow investora, index DSCR a odpisy.

Z tabulky č. 6 je patrné, že celková tržba za prodej po dobu životnosti FVE je 163 672 869 mil. Kč. Roční výroba elektrické energie v kWh klesá vlivem snižující se účinnosti fotovoltaických panelů. Připočte-li se k celkové tržbě za prodej i ostatní vynaložené náklady, pak vychází zisk po zdanění, který činí 62 251 030 mil. Kč, viz tabulka č. 7.

Předpokládaná doba návratnosti celkových investičních nákladů na výstavbu a provoz fotovoltaické elektrárny **SB fotoenergie CZ s.r.o.** bude v roce 2027.

Tab. 7: Přehled vypočtených hodnot pro určení ekonomické efektivity FVE

Rok	Výkup. cena [Kč/k Wh]	Roční výroba [kWh]	Tržby za prodej [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Reinvestice [Kč]	Splátky jistiny úvěru [Kč]	Úroky z úvěru [Kč]	Daň z příjmů [Kč]	Cashflow investora [Kč]	Index DSCR	Zůstatek jistiny úvěru [Kč] k 31.12.	Odpisy[Kč]	Zisk před zdáněním [Kč]	Daňový základ [Kč]	Zisk po zadnění [Kč]
2010	12,15	0	0	0	0	0	0	0	-9 891 217		39 564 867	0	0	0	0
2011	12,39	605 000	7 497 765	-494 561	0	-1 552 062	-2 729 388	0	2 721 754	1,636	38 012 805	0	4 273 816	0	4 273 816
2012	12,64	598 950	7 571 243	-514 343	0	-1 663 592	-2 617 858	0	2 775 449	1,648	36 349 213	0	4 439 041	0	4 439 041
2013	12,89	592 900	7 644 661	-534 917	0	-783 136	-2 498 314	0	2 828 294	1,661	34 566 077	0	4 611 430	0	4 611 430
2014	13,15	586 850	7 717 988	-556 314	0	-1 911 271	-2 370 170	0	2 880 223	1,673	32 654 806	0	4 791 494	0	4 791 494
2015	13,41	580 800	7 791 189	-578 566	0	-2 048 613	-2 232 838	0	2 931 172	1,685	30 606 194	0	4 979 785	0	4 979 785
2016	13,68	574 750	7 864 231	-601 709	-314 569	-2 195 824	-2 085 626	-444 127	2 222 376	1,519	28 410 370	-2 524 815	2 337 512	2 337 512	1 893 384
2017	13,96	568 700	7 937 079	-625 777	-317 483	-2 353 614	-1 927 837	-35 816	2 676 552	1,625	26 056 756	-4 877 477	188 506	188 506	152 689
2018	14,24	562 650	8 009 695	-650 808	-320 388	-2 522 742	-1 758 708	-76 440	2 680 609	1,626	23 534 014	-4 877 477	402 314	402 314	325 874
2019	14,52	556 600	8 082 041	-676 841	-323 282	-2 704 024	-1 577 426	-119 133	2 681 335	1,626	20 829 990	-4 877 477	627 015	627 015	507 882
2020	14,81	550 550	8 154 076	-703 914	-326 163	-2 898 332	-1 383 118	-164 047	2 678 502	1,626	17 931 658	-4 877 477	863 404	863 404	699 358
2021	15,11	544 500	8 225 760	-732 071	-329 030	-3 106 604	-1 174 847	-211 344	2 671 865	1,624	14 825 054	-4 877 477	1 112 336	1 112 336	900 992
2022	15,41	538 450	8 297 050	-761 354	-331 882	-3 329 841	-951 609	-261 199	2 661 166	1,622	11 495 212	-4 877 477	1 374 729	1 374 729	1 113 531
2023	15,72	532 400	8 367 901	-791 808	-334 716	-3 569 121	-712 330	-313 799	2 646 129	1,618	7 926 092	-4 877 477	1 651 571	1 651 571	1 337 773
2024	16,03	526 350	8 438 268	-823 480	-337 531	-3 825 594	-455 856	-369 346	2 626 461	1,613	4 100 498	-4 877 477	1 943 924	1 943 924	1 574 579
2025	16,35	520 300	8 508 102	-856 419	-340 324	-4 100 498	-180 953	-428 057	2 601 851	1,608	0	-4 877 477	252 929	252 929	1 824 873
2026	16,68	514 250	8 577 354	-890 676	-343 094	0	0	-1 341 581	6 002 003		0	-282 632	7 060 951	7 060 951	5 719 371
2027	17,01	508 200	8 645 973	-926 303	-345 839	0	0	-1 347 328	6 026 503		0	-282 632	7 091 199	7 091 199	5 743 871
2028	17,35	502 150	8 713 905	-963 355	-348 556	0	0	-1 352 679	6 049 315		0	-282 632	7 119 362	7 119 362	5 766 683
2029	17,7	496 100	8 781 097	-1 001 890	-351 244	0	0	-1 357 613	6 070 351		0	-282 632	7 145 331	7 145 331	5 787 718
2030	18,05	490 050	8 847 491	-1 041 965	-353 900	0	0	-1 362 109	6 089 517		0	-282 632	7 168 994	7 168 994	5 806 885
Celkem		10 950 500	163 675 269	-14 727 072	-5 018 001	-39 564 867	-24 656 888	-9 184 615	60 630 209			-47 835 264	71 435 644		62 251 030

8 Závěr

V prvním bodě této práce jsem s využitím doporučené literatury provedl popis přeměny sluneční energie na energii elektrickou. Z těchto poznatků mohu konstatovat, že k fotovoltaické přeměně dochází v polovodičových fotovoltaických článcích, kde se energie dopadajících fotonů mění na energii elektrickou. V podstatě se jedná o velkoplošnou diodu, přechod PN je orientován kolmo k čelní ploše mezi přední a zadní stranou. Pokud na fotovoltaický článek dopadají fotony s větší energií, než jaká odpovídá šířce zakázaného pásu, tyto fotony generují páry elektron – díra pak odevzdávají svoji energii a pohlcují se. Případný přebytek energie většinou předají kmitům mřížky, a tak ho přemění v teplo, což vede k ohřevu materiálu polovodiče. Páry elektron – díra generované v oblasti přechodu PN jsou od sebe odděleny elektrickým polem E mezi vázanými prostorovými náboji, díry jsou urychleny ve směru pole a elektrony opačně. Mezi opačnými póly FV článku se objeví elektrické napětí a po zapojení do elektrického obvodu teče obvodem stejnosměrný elektrický proud. Fotovoltaický článek se tak stává zdrojem energie.

Značnou pozornost jsem věnoval ochranám před bleskem a přepětím pro fotovoltaické zdroje. V současné době dochází k velkému rozmachu instalací fotovoltaických systémů. Jedná se nejen o aplikace na střechách objektů, ale především na volných plochách. Většina těchto škod je způsobena buď chybějící ochranou před atmosférickým přepětím, dále chybnou montáží hromosvodu, nebo také chybně provedenou instalací přepětiových ochran. Největší příčinou škod na FVE zdrojích jsou atmosférická přepětí.

Z pohledu energetika je masivní nasazování nových rozptýlených zdrojů elektrické energie do distribuční soustavy velký problém. Jedná se o tzv. zpětné vlivy na provoz distribuční soustavy. Aby nebyla rušena zařízení dalších odběratelů a provozovaná zařízení PDS, je zapotřebí omezit zpětné vlivy místních výroben. V případě rozptýlených zdrojů elektrické energie se jedná především o výrobní z fotovoltaický zdrojů, u kterých je prakticky nemožné ovlivnit výrobu v čase a vznikají problémy s regulací napětí. Dalším zpětným vlivem je flickr. Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flickr dodržet ve společném napájecím bodě NN a VN mezní hodnotu: $P_{it} \leq 0,46$. Dále je to útlum HDO. Při posouzení vlivu výrobní na zatížení vysílače HDO je přípustné zvýšení zatížení vysílače do 110 kV a VN 5% jmenovitého proudu. Nepřípustným změnám hladiny signálu HDO je obecně zapotřebí zamezit odpovídajícími technickými opatřeními, zpravidla hradícími členy, jejichž parametry musí být odsouhlaseny PDS. Jako poslední nepříznivým vlivem na DS je tzv. výskyt proudů harmonických. Harmonické vznikají především u zařízení se střídači nebo měniči frekvence. Harmonické proudy emitované těmito zařízeními musí udat výrobce např. zprávou o typové zkoušce.

Dalším bodem mé práce byla současná legislativa obsahující podmínky pro připojení a dotační programy. Každý žadatel o připojení při plánování a výstavby nové výrobní, které mají vliv na DS musí splňovat plánovací a připojovací předpisy pro DS stanovují technická a návrhová kritéria a procedury, které má PDS dodržovat při plánování výstavby, rozvoje a obnovy DS a připojování k DS. Dotačním programem na realizaci energeticky úsporných opatření v oblasti výroby a spotřeby energie, na vyšší využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie a na rozvoj kombinované výroby elektřiny, tepla a chladu pro rok 2012 je program EFEKT o celkovém rozpočtu činí 30 mil. Kč.

V praktické části jsem zabýval komplexně technickým řešením vlastní fotovoltaické výroby elektrické energie o instalovaném výkonu 0,6MW v dané lokalitě a dále jsem provedl ekonomické zhodnocení investice s výhledem na životnost této FVE. Vlastní fotovoltaická elektrárna je rozdělena na dvě části. Na stranu NN a stranu VN. Na straně NN jsem provedl popis veškeré technologie a komponentních sestav od výroby elektrické energie až k její spotřebě, akumulaci a transformaci. Strana VN je zaměřena na vyvedení výkonu do distribuční sítě VN ČEZ Distribuce, a.s. Základní sestavou výroby je fotovoltaické pole jako zdroj elektrické energie, které je tvořeno 3169 ks polykrystalických křemíkových fotovoltaických panelů. Vyrobená stejnosměrná elektrická energie pak putuje přes rozvaděč RDC, střídač (přeměna stejnosměrné složky na střídavou) a ACD rozvaděč pomocí kabelů NN 1-AYKY 3x120mm² do trafostanice TS ARMES. Tyto kabely NN jsou napojeny do hlavního rozvaděče RH. Z tohoto rozvaděče RH jsou pak vývody na transformátor, který zajistí transformaci elektrické energie na požadovanou úroveň, dále na rozvaděč RMS (skříň vlastní spotřeby), USM (skříň fakturačního měření), skříň AXY (slouží k řízení regulace), skříň GU (zálohované napájení). Jednotlivé rozvaděče jsou opatřeny ochranami proti přepětí. Pro měření výroby elektrické energie je použito nepřímé měření na straně NN typu B, provedení odběr - dodávka. Na straně VN jsem provedl popis technologie a komponentních sestav od transformované elektrické energie z hladiny napětí 0,4kV na hladinu napětí 22kV a vyvedení výkonu do distribuční sítě VN. Od transformátoru typu 22/0,4KV, 630kVA typu SGB DOTEL je vyvedeno kabelové vedení VN 3x 22kV-AXEKVCE 1x120mm² v délce trasy 850m, které přenáší vyrobený výkon až do trafostanice DTS_PR_3455 ČEZ Distribuce, a.s., kde bude napojen z volného pole rozvaděče VN RM6. Výsledný výpočet uzemnění trafostanice ARMES mi vyšlo na 9,87Ω a vyhovuje tedy podmínce dle ČSN 2000-5-54 ed.2. Zpětné vlivy na napájecí síť jsou zamezeny pomocí střídačů a filtračněkompenzačních zařízení.

Na základě stanovených parametrů jsem provedl výpočet ekonomického zhodnocení investice, které je pouze brán jako předpoklad. Skutečná hodnota tržby bude znatelná až po fakturačním měření za výrobní období. Celková předpokládaná tržba za prodej po dobu životnosti FVE je 163 672 869 mil. Kč. Roční výroba elektrické energie v kWh klesá vlivem snižující se účinnosti fotovoltaických panelů. Připočte-li se k celkové tržbě za prodej i ostatní vynaložené náklady, pak vychází zisk po zdanění, který činí 62 251 030 mil. Kč. Teoretická návratnost investičních nákladů s uvažováním bankovního úvěru 80 % bude v roce 2027.

Použitá literatura

Knižní zdroje:

- [1] LIBRA, M., POULEK, V. *Zdroje a využití energie*. 1. vyd. Praha: ČZU, 2007. 140 s. ISBN 978-80-213-1647-8.
- [2] MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMESŠ, M. *Fotovoltaika. Elektřina ze slunce*. 1. vyd. Brno: ERA group spol. s r. o., 2007. 81 s. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [3] HENZE, A., HILLEBRAND, W. *Elektrický proud ze slunce. Fotovoltaika v praxi*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 2000. 136 s. ISBN 80-86167-12-7.
- [4] KUTÁČ, J., MERAVÝ, J. *Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudních znalců*. 1. vyd. Ostrava: SPBI, 2010. 186 s. ISBN 978-80-7385-081-4.

Internetové zdroje:

- [5] eon-distribuce.cz, Pravidla provozování distribučních soustav, [online]. [cit.2012-1-13]. Dostupný z WWW:
< http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS_2009_4.pdf >
- [6] cezdistibuce.cz, Pravidla provozování distribučních soustav, [online]. [cit.2012-2-25]. Dostupný z WWW:
< http://www.cezdistibuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011_ppds.pdf >
- [7] mpo-efekt.cz, PROGRAM EFEKT 2012, [online]. [cit.2012-3-17]. Dostupný z WWW:
< http://www.mpo-efekt.cz/upload/62d0d69c2bcb052223969e1a31d35403/_EFEKT_2012_TEXT.pdf >

Seznam obrázků

Obr. 1:	Koncentrátory slunečního záření.....	3
Obr. 2:	Schéma ostrovního PV systému.....	4
Obr. 3:	Schéma síťového PV systému	4
Obr. 4:	Důležité charakteristiky vlastního polovodiče	6
Obr. 5:	Důležité charakteristiky polovodiče typu N.....	7
Obr. 6:	Důležité charakteristiky přechodu PN	8
Obr. 7:	Schematické znázornění struktury tenkovrstvého ohebného článku s PVC fóliemi...10	
Obr. 8:	Škody způsobené na fotovoltaických zdrojích	13
Obr. 9:	Škody způsobené bleskem na fotovoltaických panelech	15
Obr. 10:	Vytvoření ochranného prostoru jímací soustavy a přepět'ových ochran	16
Obr. 11:	Uzemňovací soustava pro fotovoltaické zdroje	17

Seznam tabulek

Tab. 1:	Hodnoty výkonu pro různé napěťové hladiny... ..	20
Tab. 2:	Požadavky na kvalitu vyrobené elektrické energie.....	30
Tab. 3:	Parametry stringů.....	31
Tab. 4:	Technické parametry nové DTS.....	33
Tab. 5:	Technické parametry pro kabelové vedení VN 22kV.....	34
Tab. 6:	Přehled ročních výnosů a tržeb za dobu životnosti FVE	39
Tab. 7:	Přehled vypočtených hodnot pro určení ekonomické efektivnosti FVE.....	41

Seznam příloh

Příloha A – Seznam použitých a souvisejících norem

Příloha B – Situace širších vztahů

Příloha C – Jednopolové schéma NN (VN)

Příloha D – Příklad schematického zapojení FVP

Příloha E – Schéma zapojení rozvaděče RDC

Příloha F – Schéma zapojení rozvaděče RAC

Příloha G – Kabelové trasy NN

Příloha H – Situace uzemnění

Příloha CH – Jednopolové schéma zapojení VN

Příloha I – Trafostanice TS – dispozice zařízení